CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL:

A CAPACITAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva

Vários dos artigos deste livro, sobretudo os relacionados com áreas mais aplicadas como a pesquisa agropecuária, a pesquisa militar, a computação, a biotecnologia e a química, tocam em duas questões fundamentais, que são o relacionamento difícil e complexo entre as atividades de pesquisa e suas aplicações, e o papel do Estado e do setor privado.

ISBN 85-225-0206-4

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
EDITORA

BRASILEIRA PARA A PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL:

A CAPACITAÇÃO BRASILEIRA PARA A PE[illegible]ENTÍFICA E TEC[illegible]

Simon Schwartzman
Antonio Paes de [illegible]
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva

Ciência e Tecnologia no Brasil: a Capacitação Brasileira para a Pesquisa Científica e Tecnológica

Volume 3

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
EDITORA

ISBN 85-225-0206-4

Direitos desta edição reservados à Fundação Getulio Vargas
Praia de Botafogo, 190 — 22253-900
CP 62.591 — CEP 22252-970
Rio de Janeiro, RJ — Brasil

Documentos elaborados para o estudo de ciência política realizado pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas, para o Ministério de Ciência e Tecnologia, no âmbito do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT II). As opiniões expressas nestes artigos são de exclusiva responsabilidade dos autores.

1ª edição — 1996

Coordenador do projeto: Simon Schwartzman

Edição do texto: Lucia Klein

Copidesque: Maria Isabel Penna Buarque de Almeida

Editoração eletrônica: Denilza da Silva Oliveira, Eliane da Silva Torres, Jayr Ferreira Vaz e Marilza Azevedo Barboza

Revisão: Aleidis de Beltran, Marco Antonio Corrêa e Fatima Caroni

Produção gráfica: Helio Lourenço Netto

Ciência e tecnologia no Brasil: a capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica, v. 3 / Simon Schwartzman (coord.). – Rio de Janeiro: Editora Fundação Getulio Vargas, 1996.
420p.

V.1 publicado em inglês sob o título: Science and technology in Brazil: a new policy for a global world.

1. Ciência e tecnologia — Brasil. 2. Ciência e estado — Brasil. 3. Tecnologia e estado — Brasil. I. Schwartzman, Simon, 1939- I. Fundação Getulio Vargas.

CDD – 607.281

Sumário

Apresentação

Com este terceiro volume a Fundação Getulio Vargas completa a publicação dos trabalhos preparados para o estudo sobre a política de ciência e tecnologia no Brasil, realizado entre 1992 e 1993 pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas.[1] Os dois primeiros volumes incluíram, como capítulo inicial, um documento síntese com as principais recomendações e conclusões derivadas deste estudo, além de uma série de trabalhos sobre o contexto mais amplo, nacional e internacional, no qual a atividade de pesquisa científica e tecnológica se desenvolve. Este volume reúne uma série de trabalhos sobre áreas específicas do conhecimento — escritos por autores de destaque nas respectivas áreas de pesquisa — que são precedidos por um documento síntese preparado por Eduardo Krieger e Fernando Galembeck. Ainda que realizados com o apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia, no âmbito das atividades do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT II), desenvolvido em colaboração com o Banco Mundial, estes trabalhos foram escritos com toda independência por seus autores e não refletem necessariamente as opiniões do governo brasileiro, do Banco Mundial ou do responsável pela coordenação do estudo.[2]

Em seu conjunto, e cada qual a seu modo, todos estes trabalhos contam uma história semelhante e têm uma origem comum. A ciência brasileira deu seus primeiros passos mais significativos no início do século XX e vem desde então tentando encontrar seu lugar na sociedade brasileira.[3] Nos anos 30, com a criação da Universidade de São Paulo, e depois da Universidade do Brasil, a pesquisa científica encontra um nicho no nascente sistema universitário. Os anos do pós-guerra são um período de grande otimismo quanto aos benefícios que a ciência e a tecnologia poderiam proporcionar ao desenvolvimento econômico e social do país, e o intercâmbio científico e técnico com os países desenvolvidos se intensifica, enquanto são criadas as primeiras instituições nacionais de fomento à pesquisa, dentre as quais a Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo e o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq). Os anos de regime militar se iniciam com

[1] Os volumes anteriores são: Schwartzman, S. (coord.). *Science and technology in Brazil: a new policy for a global word*. Rio de Janeiro, Fundação Getulio Vargas, 1995; e Schwartzman, S. (coord.). *Ciência e tecnologia no Brasil: política industrial, mercado de trabalho e instituições de apoio*. Rio de Janeiro, Fundação Getulio Vargas, 1995.

[2] Ainda que escritos entre 1992 e 1993, todos os trabalhos foram revistos em 1995 para esta edição. Na maioria dos casos não houve, no entanto, atualização dos dados, que têm como referência o ano de 1993.

[3] Para uma visão em conjunto dessa história, ver Schwartzman, S. *A space for science: the development of the scientific community in Brazil*. University Park, Pennsylvania State University Press, 1991.

conflitos intensos entre o governo e muitas das principais instituições científicas do país, mas, a partir sobretudo de meados da década de 70, os investimentos governamentais na área científica e tecnológica se intensificam, e o governo federal se reorganiza para apoiar a pesquisa de forma mais consistente e com maiores recursos. São os anos de criação do sistema nacional de pós-graduação, da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), da reformulação do CNPq e do início da política nacional de informática, assim como da implantação do programa nuclear e de outros projetos de grande porte, sobretudo militares. A política do "Brasil Potência", que teve seu auge no governo de Ernesto Geisel, não tem continuidade no governo João Batista Figueiredo, nem é retomada tampouco pelos governos civis que se sucederam desde 1985. O Brasil que emerge de 20 anos de regime militar é um país com graves desequilíbrios econômicos, sociais e institucionais, que precisam ser administrados em um ambiente de intensa competição político-partidária, e neste quadro o setor de ciência e tecnologia não consegue ser mais do que um entre tantos na disputa por recursos públicos cada vez mais escassos.

O curto período, de menos de 10 anos, em que o setor de ciência e tecnologia no Brasil pôde contar com recursos relativamente abundantes não foi suficiente para que cientistas e tecnólogos demonstrassem os eventuais benefícios que seus trabalhos poderiam trazer ao país, mas bastou para criar um conjunto muito significativo de instituições e grupos especializados, que ficaram depois com a frustração do trabalho interrompido. Em maior ou menor grau, todos os trabalhos incluídos neste volume espelham a visão de que a pesquisa brasileira cresceu, mas não o suficiente, e nem sempre com a qualidade que seria desejável. Existem centros e grupos de pesquisa de excelente nível, mas outros nem tanto. A falta de recursos é um problema grave, mas mais séria ainda é a instabilidade institucional, a imprevisibilidade e a falta de políticas bem definidas. As agências de fomento à pesquisa precisariam ser aperfeiçoadas, trabalhar melhor. O governo deveria ter políticas que estimulassem um interesse maior do setor produtivo pela atividade de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Todas essas considerações são de extrema importância, sobretudo quando vistas no contexto de cada área do conhecimento. É relativamente escassa, no entanto, a discussão sobre se a estratégia de desenvolvimento científico e tecnológico que começou a se armar na década de 70 tinha realmente um futuro promissor, e sobretudo se seria realista tentar voltar às condições daqueles anos, dadas as profundas modificações havidas desde então, tanto no país quanto no mundo. É esta preocupação que preside, por outro lado, a maioria dos trabalhos publicados nos dois volumes anteriores deste projeto.

Vários destes trabalhos, sobretudo os relacionados com áreas mais aplicadas como a pesquisa agropecuária, a pesquisa militar, a computação, a biotecnologia e a química, colocam o dedo em duas questões centrais, que são o relacionamento difícil e complexo entre as atividades de pesquisa e suas aplicações, e o papel do Estado e do setor privado. A leitura conjunta destes trabalhos é extremamente ilustrativa. Em um extremo, o texto de Cavagnari sobre a tecnologia militar ainda insiste no papel do Estado como grande investidor em ambiciosos projetos de alta tecnologia, enquanto Paes de Carvalho, no outro, trata de identificar os mecanismos de ativação da iniciativa privada na área da biotecnologia. Entre os dois, o trabalho de Lucena, sobre computação, testemunha a passagem de uma política de fechamento e auto-suficiência, que caracterizou o início dos anos 80, para uma política de muito mais abertura ao setor privado e à tecnologia internacional, na qual o Estado continua a ter um papel central. Não se trata, somente, de diferenças entre autores, mas sobretudo de diferenças entre áreas, mostrando que não é possível tratar todos os campos da pesquisa científica e tecnológica em um mesmo modelo de ação pública governamental. Apesar das diferenças, todos estes trabalhos coincidem na noção de que não basta investir na pesquisa tecnológica, nem na pesquisa acadêmica, para que bons resultados comecem a aparecer, se os mecanismos de articulação e passagem entre os centros geradores de conhecimentos e os usuários de seus produtos não estiverem adequadamente identificados e azeitados.

Dois trabalhos deste conjunto, sobre as ciências sociais e sobre a inteligência artificial, foram escritos com um espírito diferente e chamam a atenção para outros problemas, não contemplados nos demais. As ciências sociais e humanas nunca conviveram de forma confortável com as ciências físicas e biológicas, e seu *status* científico tende a ser continuamente contestado, tanto por cientistas naturais quanto por seus próprios especialistas. No Brasil, as ciências sociais e as humanidades não eram reconhecidas pelo CNPq até os anos 70, e ainda hoje não têm entrada na Academia Brasileira de Ciências e não recebem apoio do PADCT. O trabalho de Wanderley Reis sobre as ciências sociais é o único que coloca em questão o conteúdo dos conhecimentos produzidos pela área que analisa, e sua conclusão é bastante contundente: as ciências sociais são, em princípio, tão científicas quanto as demais áreas do conhecimento, mas, quando avaliadas deste ponto de vista, o que se produz no Brasil está muito longe dos padrões internacionalmente aceitos. Esta conclusão, fadada a levantar controvérsias nos meios acadêmicos, abre duas questões que não teríamos como desenvolver aqui, mas que devem ser assinaladas. A primeira é se problemas de conteúdo semelhantes aos identificados por Wanderley Reis nas ciências sociais não surgiriam também nas ciências naturais, se estas fossem submetidas a escrutínios equivalentes. No Brasil já se utilizam indicadores de produtividade, como publicações, citações, teses aprovadas etc., como próxis de qualidade dos trabalhos científicos, mas não existe, nas ciências naturais, a tradição de examinar de maneira crítica e aberta o trabalho realizado pelos colegas, como é usual na área das ciências humanas e sociais.

A segunda questão, mais complexa, é se o padrão de "cientificidade" seria o melhor critério para avaliar todo o trabalho que se realiza no país não só na área das ciências sociais e humanas, mas também em todo o conjunto de atividades que aparecem usualmente sob o nome genérico de "ciência e tecnologia". Uma literatura crescente questiona a existência de uma demarcação clara entre a "ciência" e outras atividades relacionadas com o conhecimento, tanto nas ciências

naturais quanto nas ciências sociais, em atividades como a educação, a inovação tecnológica, a difusão de conhecimentos e a elaboração de conceitos e interpretações simbólicas, que seriam mais típicas da política, da literatura e da história. Nesta visão, as ciências naturais estariam muito mais próximas das ciências sociais e das humanidades do que normalmente os cientistas estão dispostos a admitir.[4] Uma conclusão extrema, e certamente inadequada, desta visão seria desqualificar todo trabalho que se procure fazer em nome da ciência e, dessa maneira, o próprio esforço de dar ao país uma base científica e tecnológica moderna digna deste nome. A outra conclusão, muito mais difícil, mas cada vez mais inevitável, é começar a distinguir com mais clareza o que é a atividade científica propriamente dita, segundo o consenso das comunidades especializadas, e o que são outras atividades eventualmente tão meritórias como esta, mas que precisariam ser conhecidas e avaliadas em seus próprios termos.

O texto de Sampaio da Silva coloca o dedo na questão da interdisciplinaridade em uma área particularmente difícil, a da inteligência artificial, que requer a convergência das ciências físicas, biológicas, sociais e da filosofia. Aqui, como em outras áreas, existem pessoas e grupos bem qualificados, mas ela sofre de um problema especial — a falta de espaços institucionais adequados para seu crescimento e desenvolvimento. A pesquisa científica e tecnológica no Brasil, organizada sobretudo em departamentos universitários, se estrutura em função de faculdades profissionais, das disciplinas acadêmicas clássicas ou, no máximo, de algumas áreas aplicadas tradicionais, como a engenharia e a pesquisa agropecuária, e tem pouquíssimas condições de se organizar de forma semelhante àquela em que as atividades de pesquisa vêm se estruturando em todo o mundo desenvolvido.[5] A discussão sobre o caso da inteligência artificial sugere que não basta insistir na necessidade do trabalho interdisciplinar, nem na necessidade de outras características que seriam típicas e essenciais para a pesquisa científica e tecnológica modernas, se não tivermos condições de entender e trabalhar também as estruturas institucionais e culturais mais profundas sobre as quais nossa pesquisa científica e tecnológica ainda se equilibra com tanta precariedade.

Simon Schwartzman

[4] Uma das referências mais conhecidas e polêmicas é Latour, Bruno. *Science in action: how to follow scientists and engineers through society.* Milton Keynes, Open University Press, 1987.

[5] Ver, a respeito, Gibbons, Michael; Limoges, Camille; Nowotny, Helga; Schwartzman, Simon; Scott, Peter & Trow, Martin. *The new production of knowledge — the dynamics of science and research in contemporary societies.* London, Sage, 1994.

A capacitação brasileira para a pesquisa

*Eduardo M. Krieger**

*Fernando Galembeck***

1. Introdução

Os estudos reunidos neste livro tratam da capacitação brasileira para as atividades de pesquisa e desenvolvimento em diferentes disciplinas científicas e profissionais: computação; física; química; geociências; engenharias; ciências biológicas, fisiológicas, da saúde e agrárias; biotecnologia; pesquisa militar; inteligência artificial e ciências sociais, que compõem parte significativa do conhecimento científico e tecnológico contemporâneos, com grande impacto sobre a cultura, as atividades econômicas e o desenvolvimento social. Este texto tem por objetivo oferecer uma interpretação global dos resultados desses estudos e apresentar algumas propostas e sugestões para o encaminhamento da área de ciência e tecnologia no Brasil.

O impacto das ciências da matéria sobre as ciências biológicas, da saúde e agrárias é muito grande e tem aumentado nas últimas décadas. Desde a emergência da biologia molecular, que tornou possível a engenharia genética, muitos dos cientistas e tecnólogos das áreas "exatas" passaram a incorporar as implicações biológicas do seu trabalho como um fator que pesa na decisão sobre a escolha e definição de seus projetos. Por sua vez, os progressos nas áreas biológicas criaram desafios, oportunidades e instrumentos para a pesquisa matemática e físico-química, o mesmo ocorrendo, embora em menor escala, entre as ciências da matéria e as ciências humanas.

O desenvolvimento e a produção de muitos setores econômicos dependem das ciências da matéria e das engenharias, como é o caso da indústria extrativa mineral e suas correlatas, de grande parte da indústria de transformação, de bens de capital e de bens de consumo duráveis, das empresas de utilidades (telecomunicações, energia, água e esgotos), dos serviços bancários e da indústria de armamentos e defesa.

As ciências da vida, por outro lado, têm um grande impacto sobre a saúde humana e animal, e sobre a agricultura e a produção de alimentos. O prolongamento e a melhoria de qualidade da vida humana, o combate à fome, a manutenção de ecossistemas ricos e da biodiversidade e uma importante fração das ativi-

* Instituto do Coração, São Paulo.

** Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas.

dades econômicas dependem das ciências biológicas, da saúde e agrárias, básicas e aplicadas.

No momento, estão em curso dois processos de transformação de atividades humanas cujo impacto, embora imenso, ainda parece longe de ter-se completado:

• o uso maciço de equipamentos de computação na aquisição, armazenagem, processamento e uso de informação de todos os tipos;

• a mudança nos paradigmas da ciência experimental, nas expectativas de compreensão de fenômenos naturais complexos e também nas expectativas de se obter produtos simples ou sofisticados (como materiais poliméricos, revestimentos e nanoestruturas para optoeletrônica) através de processos industriais caótico-determinísticos.

2. Algumas tendências do setor

No Brasil, a idéia do reducionismo, introduzida a partir do século XVIII, se aliou aos traços escolásticos da nossa cultura e ao desprezo pelas atividades manuais (inclusive as da ciência experimental), para criar um paradigma de ensino e de prática (ou falta de prática) científica e tecnológica. Foi com base nessa perspectiva que se hierarquizou as ciências e que o conhecimento, nas universidades, foi catalogado em ciências *exatas*, biológicas e humanas. O termo *exatas* reflete a ideologia dominante, fundada na crença na possibilidade de se tratar toda a matéria inanimada de uma forma euclidiana.

A tendência à hierarquização somou-se muitas vezes a uma visão excessivamente otimista sobre os sucessos do reducionismo (que foram, certamente, muitos). Frases como "A física do século passado basta para explicar os fenômenos do dia-a-dia; a da primeira metade do século XX basta para explicar os fenômenos do espaço e moleculares" ou "A mecânica quântica resolve os problemas da química e a maior parte dos problemas da física" (amplamente desmentidas pelas décadas posteriores) foram repetidas acriticamente, criando uma atmosfera desfavorável ao engajamento de pesquisadores jovens em muitas áreas de investigação.

O ritmo de crescimento da quantidade de informação gerada tornou-se explosivo em meados deste século, associando-se a uma tendência crescente à especialização. Essa tendência começa a se reverter a partir da década de 70, e mais acentuadamente nos últimos anos, em função dos seguintes fatores:

• *a consciência ecológica*, que despertou em pesquisadores preocupações antes inexistentes, criou oportunidades e problemas de pesquisa e também tornou impopulares muitos assuntos e subáreas inteiras;

• *o fim de uma visão romântica da "ciência pela ciência"*, derivado da percepção dos enormes riscos que o desenvolvimento científico e tecnológico introduziu na

vida humana — o desencanto com a energia nuclear, os acidentes na exploração e transporte de petróleo e em complexos industriais químicos, os problemas ambientais e sociais criados por uma agricultura intensiva em tecnologia, e a perversidade de um imenso arsenal espalhado pelos territórios das grandes potências e capaz de destruir toda a vida humana;

• *a crescente interação entre produtores e usuários do conhecimento*, que transformou a pesquisa básica em um elemento fundamental da estratégia de grandes empresas no mundo todo, tornando os cientistas atentos à questão da apropriação dos resultados do seu trabalho e às implicações econômicas, sociais, ambientais e políticas desses mesmos resultados.

Outros fatores de convergência (em oposição à superespecialização) das disciplinas científicas e tecnológicas são:

• o progresso nos estudos de sistemas dinâmicos (ou complexos), a partir de áreas antes estanques como a hidrodinâmica, meteorologia, economia, química, matemática, ecologia, lingüística e ciência da informação, criando uma nova linguagem e novos paradigmas de interpretação de resultados experimentais. Isto aproximou pesquisadores de áreas muito distintas, tornando-os mutuamente interessados nos respectivos trabalhos de investigação. Mais interessante ainda é o uso crescente, em algumas disciplinas, de modelos gerados a partir de resultados experimentais de outras disciplinas;

• o próprio crescimento do conhecimento e de técnicas experimentais que tornaram possíveis novos experimentos e novas descobertas, dos quais resultaram novos conhecimentos e técnicas, e assim por diante. Para exemplificar, descobertas de propriedades de sólidos semicondutores permitiram a criação de uma eletrônica de estado sólido, que foi utilizada na construção de microcomputadores, supercomputadores e estações de trabalho que hoje são utilizados para modelar e calcular propriedades de sólidos, com um grau de detalhe e exatidão até então inconcebível, e que deverá conduzir a novos progressos na ciência dos materiais e dos biomateriais, na física e na química de sólidos, gerando, por sua vez, novos materiais e dispositivos eletrônicos, optoeletrônicos e fotônicos;

• o uso intensivo de recursos computacionais, que criou ferramentas comuns para áreas de trabalho antes estanques.

Hoje, a matemática criou uma seção experimental, as teorias penetraram os laboratórios de síntese química e de fabricação de materiais, e os mesmos tipos de instrumentos analíticos são encontrados em muitos laboratórios de física, química, biologia, geologia e astrofísica. Os congressos temáticos adquirem importância, em detrimento de congressos puramente disciplinares. Congressos inter-

nacionais sobre temas como magnetismo, supercondutores, macromoléculas, ciência de colóides e superfícies, catálise e fármacos reúnem grande número de investigadores e profissionais, colocando físicos, químicos, matemáticos, engenheiros químicos, engenheiros mecânicos e de materiais ao lado de biólogos e pesquisadores de outras disciplinas.

A interface das ciências "exatas" e das engenharias com as ciências biológicas se aprofundou, o que é corroborado pela freqüência com que a motivação de trabalhos fundamentais na química e na física passou a ser biológica, ao mesmo tempo em que o perfil da indústria química dos países desenvolvidos passa por um processo de modificação, adquirindo uma forte componente biotecnológica.

O reconhecimento destas tendências aponta para uma conclusão: é inútil concentrar a educação em especialidades. A educação deve privilegiar as habilidades mais genéricas e de multiuso, sejam manuais, sejam intelectuais. A formação profissional deve ser, antes de tudo, abrangentemente científica.

3. O contexto

A sociedade brasileira, a ciência e a tecnologia

Não existe na sociedade brasileira a consciência de uma necessidade de atividades de ciência e tecnologia, o que justifica a inexistência de atividades importantes em áreas de ciências físicas, químicas, da terra e do espaço, matemáticas e nas várias engenharias, até o primeiro terço deste século. Em contrapartida, as ciências biológicas, agrárias e da saúde registram numerosos casos e instituições importantes, no fim do século passado e no início deste século: Oswaldo Cruz, Rocha Lima, Vital Brazil, Carlos Chagas e os institutos de Manguinhos, Butantã e Biológico.

A partir dos anos 30, a opção pela industrialização se baseou em um modelo importador de tecnologia, enfatizando a formação de recursos humanos adequados à reprodução e utilização do conhecimento, mais do que à participação no processo de sua criação.

O golpe de 1964 e os eventos que se lhe seguiram, particularmente até a anistia, introduziram um novo complicador no processo: uma radicalização que separou setores da comunidade acadêmica, largamente marginalizada pelo "sistema", dos agentes do processo econômico. Com isso, a separação entre o saber e o fazer aprofundou-se. Houve, entretanto, algumas exceções, em que uma convergência de interesses aproximou militares, empresários e pesquisadores/professores universitários, como foi o caso da indústria de informática.

Além disso, o regime militar fomentou o crescimento quantitativo e qualitativo do sistema de ensino superior, em uma escala até então desconhecida no país, estimulando o crescimento da pesquisa acadêmica, que, em algumas áreas, atingiu um padrão de excelência, embora com menos sucessos na área tecnológica.

Resulta a situação atual, da qual algumas componentes importantes são:

- a perenidade de um conflito estéril de interesses entre os defensores da "pesquisa básica" e os da "pesquisa aplicada", ignorando a extrema interdependência entre ambas e a necessidade de atividade vigorosa e simultânea em ambas;

- a ausência de vínculos entre pesquisadores universitários e profissionais de empresas; sociedades científicas e sociedades profissionais são corpos distintos, que não se interpenetram nem interagem, à exceção de alguns casos notáveis;

- a existência de argumentos de rejeição mútua, entre profissionais de empresas e pesquisadores universitários, embora, no Brasil, esses profissionais tenham a mesma origem; esta questão será examinada em maior detalhe a seguir.

A universidade e os seus ex-alunos

O governo brasileiro tem, em seus quadros superiores, muitos egressos das universidades públicas brasileiras. O mesmo se passa com as empresas, particularmente as estatais. Portanto, uma parte importante do estamento com poder de decisão e de execução do país formou-se no sistema universitário público. Caso este poder se julgasse devedor do sistema que participou da sua formação, deveria tratá-lo bem; caso contrário, deveria tratá-lo mal.

É óbvio que o poder público (federal e o da maioria dos estados) trata muito mal as atividades de ciência e tecnologia. O poder econômico também não oferece apoio substancial: no Brasil não se registram legados ou doações importantes às universidades e instituições de pesquisa, com raras exceções.

Os egressos das universidades conheceram nelas muitas coisas negativas: despreparo de docentes, obsolescência de equipamentos, instalações maltratadas, desvinculação da realidade adjacente e remota, grevismo docente, política partidária intramuros, falta de exigências quanto ao desempenho docente e discente, e ineficiência administrativa. Algumas dessas mesmas características tiveram, durante o regime militar, um papel contestador, em alguns casos muito positivo.

Passada a fase de resistência ao regime militar, não ocorreu dentro das universidades um processo de mobilização intelectual e científica associado a um novo projeto nacional. A partir de meados dos anos 80, a universidade se transformou em uma das portas de saída mais utilizadas para a emigração: tornou-se comum a figura do candidato à pós-graduação interessado, acima de tudo, em uma rota para o exterior, preferivelmente sem retorno. Já nos primeiros anos da década de 90 este processo foi modificado, agora por um fator puramente externo: a grande oferta de trabalhadores científicos e técnicos de alto nível, causada pelo desmonte do antigo sistema científico soviético e do sistema de pesquisa militar americano (com reflexos sobre Israel e outros países), aumenta a competição que deve ser enfrentada pelos pesquisadores emigrantes brasileiros.

A visão negativa que os egressos têm da universidade brasileira justifica o desinteresse que o público em geral e os detentores do poder têm pela universidade; justifica, também, que a maior exceção a este quadro seja a do sistema universitário paulista, em que sucessivos governos, de diferentes vertentes partidárias, apoiaram as universidades, de forma quase contínua e substancial, durante os últimos 50 anos.

A ação do poder público e do setor privado

Na história da ciência no país, é possível identificar quatro momentos importantes em que o poder público alavancou as atividades de pesquisa:

- a reação do governo do estado de São Paulo ao governo federal, criando a USP, e seus desdobramentos a partir de 1935;

- a criação do CNPq;

- a criação do Funtec e, mais tarde, da Finep, na esteira do projeto do Brasil-potência, do regime militar no fim dos anos 60 e nos 70;

- a criação do Ministério de Ciência e Tecnologia, o qual, ainda que cercado por intenções mais ambiciosas que as realizações, implementou uma política de formação de recursos humanos de alto nível.

Quanto às empresas brasileiras, em que pese o gigantismo de algumas estatais e o sucesso de muitas delas, tanto estatais quanto privadas, a verdade é que seu envolvimento com a geração de ciência e tecnologia ainda é bastante modesto. Casos exemplares são os da Usiminas, Metal Leve, e de alguns setores da Petrobras e do complexo florestal papeleiro. No que concerne ao desenvolvimento tecnológico em empresas, a atuação e as compras da Petrobras, da Telebrás, dos programas militares de pesquisa e de algumas instituições menores mas estratégicas (como o Laboratório de Luz Síncrotron) requereram o envolvimento de algumas centenas de empresas que, com isso, adquiriram qualificação e desenvolveram produtos e processos, mais tarde incorporados aos seus negócios com outros compradores, do Brasil e do exterior.

Até cerca de 1980, entretanto, as atividades científicas e tecnológicas foram muito mais objeto de atenção de pesquisadores e de uma cúpula governamental do que assunto de interesse geral da população. A partir dessa época, a recessão de 1982/83, a moratória e suas conseqüências, o discurso governamental de 1986-88 (e a sua parcial concretização, através do PADCT, do programa de bolsas para o exterior e do RHAE) e o discurso de modernidade de sucessivos candidatos ao governo criaram uma nova consciência sobre a importância de ciência e tecnologia.

Esta consciência é um querer de ciência e tecnologia, que esbarra na dificuldade de não saber fazer. Grande parte dos ex-alunos das universidades não conhece nem compreende o processo de geração de ciência e tecnologia, ou seja, desconhece tanto o processo de acumulação do conhecimento, quanto o processo de revolução do conhecimento. O caso da tecnologia é o mais espantoso. Expressões como "transferência de tecnologia" fazem parte do nosso cotidiano, como se tecnologias fossem simplesmente transferíveis. O acordo nuclear Brasil-Alemanha, por exemplo, propunha transferir uma tecnologia que ainda não estava provada quando, na realidade, as tecnologias que funcionam são sempre propriedade de alguém, eventualmente disposto a cedê-las como parte de um negócio. Outra idéia corrente é a de que só interessa o "novo" produto da pesquisa, ao passo que não existe clareza quanto à noção de desenvolvimento incremental, ou seja, de pequenos ganhos que se acumulam ano a ano e que permitem ao detentor da tecnologia capaz de melhorá-la continuamente uma posição confortável face à concorrência e às novas tecnologias que surjam. A participação do setor privado em C&T é pequena e representa apenas 8% do total de gastos; o restante é fruto de investimento do setor público, dos quais cerca de 12% pelas estatais.

4. Desempenho comparativo das diferentes áreas

A produção científica (medida em artigos publicados) gerada no Brasil em 1980 correspondeu a 30% da produção da América Latina e 0,34% da produção internacional. Dados de Schott indicam que a participação brasileira na produção mundial de artigos científicos é maior na área da física, decrescendo na seguinte ordem: biologia, matemática, geociências e ciências espaciais, química, biomedicina, tecnologia e medicina clínica. A produção tecnológica medida em patentes é pequena.

Dados de Brisolla (1993) indicam haver 52.863 pesquisadores no país em 1985/86, dos quais 11.492 doutores e 13.329 mestres com uma produção científica de 4.615 artigos internacionais. É a seguinte a distribuição percentual por área:

Área	Pesquisadores (%)	Produção internacional (%)
Ciências exatas e da terra	19	36
Ciências biológicas	17	26
Ciências da saúde	17	19
Ciências humanas	13	6
Ciências agrárias	12	6
Engenharias	10	5
Ciências sociais e aplicadas	7	2
Lingüística, letras e artes	5	0,1

No início da década de 80, a física, a biologia e a matemática haviam alcançado uma situação superior à da química, das geociências e da medicina, no ambiente universitário; por outro lado, o desenvolvimento da pesquisa universitária em engenharia elétrica era significativamente superior ao da pesquisa em engenharia civil, em que pese o desenvolvimento tecnológico e profissional da engenharia civil brasileira, capacitada para o projeto e execução de grandes obras, no país e no exterior.

No caso da física, estas disparidades se devem ao fato de que a física brasileira deslanchou em uma época em que o mundo estava voltado para a física nuclear. Na década de 50, a física do estado sólido cresceu de forma explosiva. Por outro lado, os avanços na química, geociências e outras áreas não tiveram um caráter tão espetacular, o que explica por que muitos talentos brasileiros, após uma graduação em química ou engenharia, optassem por uma carreira em física, no Brasil e no exterior, como foi o caso de Schönberg, Leite Lopes, Mascarenhas, Quadros e Sérgio Porto. No âmbito das agências de financiamento à pesquisa, o maior peso e dinamismo dos físicos lhes assegurou um tratamento privilegiado.

O apoio à química no Brasil deixou muito a desejar. Prova disso é o fato de, no início dos anos 80, a química ter estado vinculada a uma diretoria de tecnologia, e não a uma diretoria científica, dentro da Finep. Em conseqüência, enquanto os departamentos mais importantes de física no Brasil recebiam apoios substanciais de cerca de US$1 milhão, a cada dois anos, a química era obrigada a pleitear recursos através de projetos de pesquisa aplicada que atendessem às diretrizes emanadas do corpo técnico da Finep.

Essa situação se inverteu com o PADCT: ao definir geociências e tecnologia mineral, biotecnologia química e instrumentação como áreas "verticais", o PADCT estimulou um desenvolvimento sem precedentes daquelas áreas, que prossegue até hoje.

5. Propostas e sugestões

A qualidade dos recursos humanos

Considerando as dimensões da população brasileira, os gastos com ensino superior e pós-graduação deveriam ser até maiores. A percentagem do PIB despendido em educação é menor do que nos países industrializados, mas a presença do setor público é relativamente maior, com uma baixa participação do setor privado. O rendimento seria bem superior caso a qualidade dos recursos humanos fosse melhor.

Cursos técnicos

Há no Brasil numerosos cursos técnicos de nível secundário de boa qualidade e que poderiam ter um papel importante na formação de quadros para ciência e tecnologia, embora, atualmente, desempenhem muitas vezes apenas o papel de estágio preparatório para os vestibulares. A solução deste problema se configura em duas etapas:

- melhoria de qualidade dos cursos secundários públicos, tornando os cursos técnicos mais acessíveis a estudantes com vocação efetivamente técnica;

- o estabelecimento de uma distinção mais nítida entre os currículos dos cursos técnicos e os dos cursos secundários, diminuindo a atratividade dos cursos técnicos como via de acesso ao vestibular.

Contribui para o desprestígio dos cursos técnicos a supervalorização formal do diploma universitário no Brasil, mais aguda no serviço público, onde o acesso a cargos e funções está mais relacionado com a existência de um diploma superior do que com a competência profissional.

Pouco explorada, ainda, é a formação de tecnólogos de nível pós-secundário. Experiências malsucedidas como a dos "engenheiros de operação", formados em três anos de curso superior, foram substituídas por outras, positivas, como a da Fatec, em São Paulo. Espera-se da universidade pública uma contribuição importante na oferta de cursos desse tipo, maximizando o uso de suas instalações no período noturno.

Os cursos de graduação

Entre os instrumentos necessários à melhoria de qualidade dos cursos de graduação destaca-se uma sistemática de avaliação de cursos e de avaliação de alunos por professores de outras instituições. O resultado da avaliação seria incorporado seja ao currículo do aluno, seja ao histórico do curso, e seria uma maneira de eliminar o sistema de corrupção dupla em vigor no ensino superior brasileiro, que funciona da seguinte maneira: professores ministram cursos de qualidade duvidosa, mas não fazem grandes exigências sobre os alunos. Estes, por sua vez, trabalham pouco e mal, mas não fazem exigências sobre os professores. Como a única avaliação a que os alunos serão submetidos é aquela feita pelo próprio professor que ministrou a disciplina, tudo termina "bem".

Uma componente mais recente do sistema de corrupção dupla está ligada à sistemática implantada para a eleição dos dirigentes universitários, que torna essencial para o docente cultivar uma base eleitoral. É óbvio que um docente austero de uma disciplina árdua tem muito poucas chances eleitorais. Este problema

é resolvido por alguns professores, eliminando a austeridade ou as dificuldades da sua disciplina.

Já a avaliação de cursos de graduação, embora aproveitando a experiência da Capes, deverá seguir padrões bastante diferentes. Um de seus elementos poderia ser um exame de proficiência de alunos, de caráter nacional e prestado em base voluntária, na linha da iniciativa implantada pelo grupo técnico de química e engenharia química do PADCT, junto à Capes.

É fundamental, na graduação, dar uma ênfase à educação científica geral dos estudantes de todas as áreas, em função das deficiências do ensino secundário e da falta de disseminação de uma cultura científica no país, de forma a sensibilizar o aluno para a importância da atividade científica e tecnológica.

A maioria dos alunos do terceiro grau está matriculada na rede privada de ensino, grande parte deles em cursos ligados às áreas social e humana. A universidade privada não tem interesse nem conta com recursos para atividades regulares de pesquisa, com conseqüências diretas sobre o ensino geral de ciência, que é muito fraco. A mudança do perfil dos alunos, com maior participação dos que seguem profissões mais diretamente ligadas ao setor de C&T, depende de mudanças no setor produtivo, aumentando a demanda por engenheiros, físicos, químicos etc. para trabalharem em setores industriais tradicionais, ou por profissionais da área biológica, para atuarem em biotecnologia, por exemplo.

Cursos de pós-graduação

Os cursos de pós-graduação têm atraído uma clientela altamente heterogênea, composta de alunos brilhantes e fortemente vocacionados, ao lado de alunos fracos para quem a pós-graduação é simplesmente a única opção após a formatura. Muitos desses obtiveram o mestrado e, mesmo, o doutorado, transformando-se em um fator de mediocrização do sistema. A pós-graduação tornou-se, em muitos casos, um estágio de treinamento para o fracasso: a irresponsável e crônica inadimplência das agências de fomento, aliada à falta de planejamento, experiência ou mesmo responsabilidade de orientadores, à falta de acompanhamento adequado do desempenho dos alunos e orientadores e à falta de simples talento e competência de estudantes, criou um sistema no qual uma das grandes demandas atuais dos estudantes é pela "profissionalização" da pós-graduação, cuja conseqüência será a redução dos pós-graduandos brasileiros aos padrões medíocres da média dos docentes.

Algumas medidas são necessárias para que os cursos de pós-graduação se tornem qualitativamente melhores:

- aumento gradual dos níveis de exigência das avaliações da Capes;

- acompanhamento de destino dos pós-graduados;

- restrição das áreas teóricas e das áreas estritamente básicas a alunos de talento e promissores;

- acompanhamento detalhado do andamento do trabalho de cada estudante por um assessor externo e anônimo (nos moldes do que fazem algumas fundações estaduais, como a Fapesp);

- correção regular dos valores das bolsas, que não podem ser tão pequenas a ponto de causar indignidade, nem tão elevadas a ponto de tornarem-se uma opção profissional;

- eliminação da isonomia de bolsistas, reduzindo a defasagem do seu valor com os salários pagos pelo mercado, no caso de áreas do conhecimento em que o mercado tenha uma grande demanda;

- acompanhamento detalhado do desempenho dos orientadores, da respectiva produção científica e da dos seus estudantes;

- estabelecimento de uma sistemática de atribuição de cotas de bolsas que premie o bom desempenho dos cursos;

- melhores condições de trabalho e produtividade dos nossos grupos científicos, com o objetivo de tornar mais rápida e eficiente a formação científica dos alunos.

Cursos de extensão e educação continuada

Há uma grande necessidade de cursos de extensão e de educação continuada no país. Esta tem sido atendida pela imprensa e pelas empresas de rádio e televisão, por associações profissionais, centros e institutos de pesquisa, escolas técnicas e departamentos universitários. Entretanto, há certamente muito espaço para uma atuação adicional da comunidade científica e tecnológica. Estas atividades são provavelmente as que permitem o estabelecimento de vínculos mais imediatos entre pesquisadores e cidadãos. Elas contribuem para a qualificação e atualização profissionais, mas, também, para conferir maior sentido de relevância às preocupações dos cientistas.

Número de cientistas

O número de cientistas por milhão de habitantes, no Brasil, é 10 vezes inferior ao dos países industrializados. Entretanto, a relação entre o número de cientistas e o produto interno bruto por habitante é apenas metade da observada em países desenvolvidos. Por outro lado, comparando-se a relação dos gastos com

C&T no Brasil e nos EUA (US$2,5 bilhões *versus* 135 bilhões), verifica-se que cada um de nossos cientistas gasta cerca de quatro vezes menos do que um seu colega norte-americano. O Brasil tem um dispêndio extremamente baixo em C&T, apenas 0,7% do PIB, quando nos países industrializados os gastos com C&T são superiores a 2,5% do PIB. Além disso, no Brasil, a participação do setor privado em C&T é baixíssima — de apenas 8% — enquanto nos países industrializados chega, em alguns casos, a mais de 50%. O aumento do número de cientistas neste país depende, portanto, de um aumento substancial da participação do setor privado nos gastos em C&T nacionais e da ampliação da capacidade das universidades e institutos em absorver maior número de cientistas, oferecendo melhores condições de trabalho (salários, equipamentos, biotérios, bibliotecas, verbas das agências de fomento etc.).

Outro importante aspecto a ser considerado na expansão da base científica nacional é a estrutura e funcionamento do sistema educacional do país, que forma os recursos humanos canalizados para C&T. Além de uma elevada taxa de analfabetos (aproximadamente 20%), apenas metade da população de quatro a 24 anos freqüenta a escola. O Brasil tem apenas cerca de 1% da população matriculada na universidade, enquanto nos países industrializados essa proporção é de 3-5%. Mais de 60% desses alunos estão matriculados na rede privada, onde 70% dos cursos são nas áreas sociais e humanas, e as profissões diretamente ligadas à C&T (engenharia, física, química, computação etc.) estão sub-representadas.

O aumento do número de pesquisadores no país requer a formulação e implementação urgentes de políticas destinadas a:

- aumentar a eficiência de todo o nosso sistema educacional, permitindo o acesso de maior número de alunos à universidade;

- modificar o perfil dos alunos matriculados na universidade, reorientando maior proporção deles para as profissões ligadas à C&T;

- aumentar substancialmente a demanda por cientistas qualificados para o desenvolvimento de inovações tecnológicas no âmbito de uma indústria nacional competitiva em termos internacionais (nessa linha, cabe destaque à aprovação de lei de incentivos fiscais para a indústria aplicar em novas tecnologias, que é um importante estímulo para incrementar a associação universidade/indústria);

- recuperar, manter e expandir os núcleos de excelência responsáveis pela pesquisa básica e aplicada no país, através de um aumento substancial nas dotações orçamentárias federais e estaduais;

- recuperar a universidade pública como o local por excelência de formação da base científica nacional.

A estrutura departamental

Embora a atual sistemática de escolha de dirigentes universitários seja um processo democrático, ela está muito sujeita à influência de fatores não-acadêmicos. Torna-se necessário libertar as comunidades acadêmicas de restrições de ordem político-partidária e de injunções corporativas.

As diretrizes e a liberdade de pesquisa

As tentativas no sentido de se definir as grandes linhas, objetivos e prioridades para a pesquisa civil geralmente têm esbarrado em uma crítica acerba e maniqueísta de parte da comunidade científica. Por sua vez, a insuficiência crônica do fomento governamental nos últimos 15 anos e suspeitas quanto às intenções reais das políticas de C&T contribuíram para transformar um debate político de alto nível em uma discussão passional em que ações complementares eram tratadas como antagônicas, como ocorreu no debate FNDCT *versus* PADCT, o que, aparentemente, concorreu para o enfraquecimento de ambos.

A maioria dos departamentos e das universidades brasileiras não tem planos diretores, nem metas, nem planos estratégicos, nem procura definições claras de uma vocação ou de um papel. Nisto, apenas repetem instituições públicas e governos de todos os níveis. Portanto, seria descabido esperar que a ciência e a tecnologia brasileiras tivessem algum grau de definição programática ou de diretrizes. Em geral, o planejamento a médio e longo prazos é feito apenas por indivíduos e se refere a sua esfera de ação imediata.

Em um quadro de escassez crônica de recursos para pesquisa científica e de existência de um número expressivo de doutores em várias áreas do conhecimento e de uma infra-estrutura de pesquisa considerável, é necessário definir a dimensão das atividades estritamente científicas e dos recursos a elas alocados, bem como a das atividades organizadas em programas e seus objetivos.

Programas de pesquisa

Existe um consenso em torno da necessidade de um sistema que defina e acompanhe o desempenho das grandes políticas de desenvolvimento em cada uma das grandes áreas de C&T, como forma de otimizar recursos. Essa função caberia ao Conselho de Ciência e Tecnologia e suas câmaras setoriais, compostos por representações do governo, das comunidades científica e tecnológica, da classe empresarial e de trabalhadores. Dele deverão emanar as recomendações quanto aos projetos prioritários e de maior retorno sócio-econômico, contemplando de forma integrada as ações em pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento, e com a participação das empresas, universidades e governo.

Seguem-se alguns programas que deveriam receber tratamento prioritário.

Ciência e engenharia dos materiais

No final dos anos 80, foi criado, no âmbito do PADCT II, o Subprograma de Novos Materiais. O desenvolvimento de novos materiais é imprescindível para tornar competitivas as indústrias de bens de consumo duráveis, de meios de transporte e de alimentos.

Esta área registra um dos mais bem-sucedidos programas de P&D do país: o das fibras óticas, que contou com uma parceria entre uma universidade e um centro de pesquisa pertencente a uma empresa — o CPqD, da Telebrás — e resultou em um produto industrial. A transferência de tecnologia para a empresa industrial foi feita com transparência e lisura e, atualmente, prossegue a pesquisa básica e aplicada, em universidades e no CPqD.

O caso da construção civil também merece atenção especial: embora exista uma grande demanda por habitações no Brasil, predominam, mesmo em áreas desenvolvidas do país, materiais e métodos construtivos caros, arcaicos e que geram produtos de má qualidade. É certo que há pesquisa realizada por engenheiros civis, quanto à adaptação de novas tecnologias de construção, baseadas em materiais de introdução recente, e criadas em outros países, como também há importante pesquisa sobre tecnologias de uso de madeira em construção, por exemplo. Entretanto, juntos, o pesquisador-engenheiro civil, o pesquisador de materiais e o pesquisador de processos de transformação podem trabalhar na busca da conciliação entre o possível, o desejável e o economicamente viável.

Um exemplo de como o trabalho interdisciplinar pode ter resultados positivos é o do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, que desenvolveu uma técnica de preparo de solo para construção de estradas cujo objetivo é minimizar o uso de brita e mão-de-obra. Essa técnica é efetiva em solos que tenham uma dada composição mineral; a adição de cal provoca a ocorrência de algumas reações químicas, que transformam o próprio solo em uma base para a pavimentação. Este resultado foi gerado a partir de trabalho de engenheiros civis, geólogos e químicos, e sua importância não pode ser minimizada em um país de péssimas estradas e dimensões continentais.

Programa de estudo e manejo do meio ambiente

Trata-se de um programa de caráter necessariamente interdisciplinar e que se impõe pelas peculiaridades geográficas e climáticas do Brasil. Tem um espectro bastante amplo e cobre desde problemas relacionados com a disposição de lixo urbano em grandes cidades até a coleta e tratamento de esgotos. Cubatão é um exemplo de como é possível melhorar o ambiente sem inviabilizar atividades econômicas e empregos. Entretanto, há muito mais a fazer, no sentido de viabilizar atividades industriais e de mineração, protegendo o ambiente. Um programa desse porte requer a participação de cientistas de várias áreas, desde engenheiros e especialistas em sistemas, passando por químicos e microbiologistas, até arquitetos e cientistas sociais.

Programa de tecnologia industrial

No momento, há uma grande concentração de esforços e de recursos em alguns aspectos de tecnologia industrial básica, particularmente aqueles ligados a qualidade.

Entretanto, não há no país experiências bem-sucedidas de programas multidisciplinares e multiinstitucionais de fomento ao desenvolvimento de tecnologia industrial. Até o início da década de 80, a Secretaria da Tecnologia Industrial, então vinculada ao Ministério da Indústria e Comércio, teve uma atuação positiva, com a criação de formatos de projetos de fomento que, no entanto, se perderam com a sua extinção, durante o governo Sarney. A tecnologia industrial básica (normatização e qualidade), por sua vez, tem sido tratada no âmbito do PADCT e de programas paralelos do MCT.

Responsável pelo financiamento da P&D em empresas, a Finep teve, até o início dos anos 90, uma atuação limitada, praticando, na perspectiva de empresários competentes, regras impróprias à sua vocação e semelhantes às dos bancos comerciais, acrescidas de um complicador: a burocratização excessiva. A criação de formatos de contrato de risco tem sido reivindicada com freqüência.

Formas de interação entre a comunidade científica, os centros de P&D e as empresas

Atualmente, coexistem várias formas de interação de pesquisadores com profissionais de empresas, trazendo benefícios importantes e riscos que não podem ser minimizados.

Consultoria

A consultoria é uma forma simples e muito efetiva de interação dos meios acadêmico e empresarial. No Brasil, sua prática esbarrou em limitações impostas a docentes de tempo integral ou de regime de dedicação integral. Sua regulamentação nas universidades estaduais paulistas só se completou no fim da década de 80 e agora já pode ser praticada dentro de um conjunto de regras que protegem o pesquisador, seu departamento e a própria empresa. A consultoria é um instrumento muito poderoso de melhoria da qualidade da própria produção científica, porque dá a essa produção o papel de um lastro de credibilidade para serviços que o pesquisador (e a universidade) passam a oferecer ao mercado. A prática da consultoria também contribui para resolver um importante problema: o da relevância da pesquisa. Tem sido freqüente a procura, por profissionais de empresas, de docentes trabalhando em linhas de pesquisa básica, mas relevantes para o desenvolvimento de algum pro-

duto da empresa, o que tem contribuído para o aprimoramento da própria pesquisa e para estreitar o dialogo universidade/empresa.

Uma idéia errônea e muito difundida é que a consultoria seja uma via de mão única, em que o pesquisador se exaure para contribuir para a empresa. Na realidade, muitos pesquisadores já tiveram a oportunidade de, durante um trabalho de consultoria, perceberem algum problema básico, cuja solução não estava na literatura e que podia, portanto, gerar pesquisa fundamental de boa qualidade. Por sua vez, profissionais de empresas freqüentemente detêm conhecimentos que são transmitidos ao consultor e podem ser usados em aulas ou em sua pesquisa.

Projetos conjuntos

No Brasil destacam-se alguns poucos casos bem-sucedidos, como os projetos de fibras ópticas e de tecnologia de exploração de petróleo em águas profundas. Projetos conjuntos requerem um grau de mobilização que conflita com a compartimentalização, pulverização e falta de avaliação científica das atividades na maioria dos departamentos universitários no Brasil. A recente ênfase das agências em projetos de maior porte (projetos integrados do CNPq e projetos temáticos da Fapesp) pode ter um subproduto importante: criar nas universidades equipes capazes de participarem de projetos conjuntos ambiciosos com empresas.

Formação de recursos humanos

Um mecanismo absolutamente natural de interação das universidades com os centros de pesquisa e empresas é o fluxo de graduados, pós-graduados e mesmo de docentes que decidem mudar de carreira. Este mecanismo tem sido muito negligenciado, por todas as partes envolvidas. De um lado, a empresa brasileira tem um grande envolvimento com o ensino técnico (através do Senai) e, episodicamente, com o ensino superior (por exemplo, na criação da Escola de Engenharia Mauá, em São Paulo). Não há ainda mecanismos definidos e bem-estabelecidos de diálogo entre a universidade e as empresas, apesar de esforços recentes e promissores como os da Fundação Uniemp, atingindo vários estados. Nos anos 90, têm surgido experiências interessantes nesse sentido:

• a criação ou crescimento de entidades vigorosas que reúnem em um foro único e em condições de igualdade profissionais de empresa e pesquisadores, como é o caso da Associação Brasileira de Cerâmica e da Associação Brasileira de Polímeros;

• o trabalho de profissionais de empresa junto a grupos universitários, preparando e testando material didático inovador, cuja adoção deverá contribuir para um ensino mais crítico, de melhor qualidade e mais relevante, como o programa desenvolvido na USP, com a cooperação da Universidade de York.

A pesquisa interdisciplinar

A compartimentalização da pesquisa é um dado dominante no Brasil e não é de se estranhar que as equipes e os projetos interdisciplinares fortes sejam a exceção mais do que a regra, no quadro da pesquisa científica e tecnológica.

No passado houve experiências importantes induzidas por financiamentos generosos, como o projeto Energia, na Unicamp, que reuniu pesquisadores de várias disciplinas, principalmente engenheiros e físicos; um projeto sobre baterias, na UFCe, reunindo engenheiros e químicos, e outros que, em função de um certo artificialismo na constituição das equipes, resultaram no desmantelamento de muitas de suas atividades tão logo se esgotou o financiamento indutor. A produção científica ou tecnológica resultante também não teve relevância maior.

Atualmente, existem algumas exceções importantes e uma crescente prática de colaboração científica entre pessoas de diferentes áreas, perseguindo objetivos comuns.

Também é essencial a colaboração entre as áreas básicas e as de saúde, agrárias e biológicas. O conhecimento eventualmente gerado em áreas mais básicas de ciências da matéria pode ser útil em medicina e no *agribusiness*, seja em diagnóstico (*kits* de análise clínica e tomografias), em terapia (fármacos, fontes de radiação, biomateriais e sistemas de liberação controlada), na produção de alimentos (pesticidas, membranas para separação química, fontes de radiação e fertilizantes) e de energia. Não custa mencionar que o mais abundante produto industrial obtido de organismos vivos, a celulose, tem apenas algumas (ainda que importantíssimas) aplicações. Há grandes perspectivas no uso de celulose como fonte de combustíveis líquidos e de materiais. No primeiro caso, esbarra-se na resistência da celulose à hidrólise, que a impede de transformar-se em uma fonte imensa de glicose e álcool; no segundo caso, o próprio uso de madeira ainda é grandemente predatório, neste país, e não há exemplos de busca de produtos de celulose mais nobres que o papel.

Uma estratégia possível para a solução desse problema é o estímulo às atividades dos grupos interdisciplinares que se formaram espontaneamente e alcançaram bons resultados científicos; essa estratégia pode ser implementada através de projetos temáticos, como os da Fapesp, ou através de projetos integrados como os do CNPq e da Fapergs, ou, ainda, de projetos como os do Subprograma de Ciências Ambientais do PADCT. É importante, contudo, que prevaleça o apoio a grupos interdisciplinares formados espontânea e organicamente, trabalhando de acordo com padrões de qualidade elevados, evitando-se o apoio a equipes constituídas de maneira artificial, como ocorreu no passado.

Referências bibliográficas

Brisolla, Sandra. *Indicadores quantitativos de ciência e tecnologia no Brasil.* São Paulo, Núcleo de Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas, 1993.

Schott, T. *Performance, specialization and international integration of science in Brazil: changes and comparisons with other Latin American countries and Israel.* Pittsburgh, University of Pittsburg, 1993.

Biotecnologia

*Antônio Paes de Carvalho**

1. Introdução

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um enfoque abrangente da biotecnologia no Brasil e no mundo, analisando os seguintes aspectos da área: multidisciplinaridade da base científica; capacidade geradora de tecnologias produtivas; configuração da indústria biotecnológica; seus mercados-alvo; ambiente regulatório; contornos econômicos e financeiros da atividade.

Na sua visão internacional, o trabalho baseia-se predominantemente nos levantamentos e avaliações anuais de Stephen Burril e K. B. Lee Jr. (1991 e 1993) sobre a indústria biotecnológica nos EUA (publicados pela consultora Ernst & Young) e em documentos emitidos pelo Office of Technology Assessment do Congresso dos EUA (1989 e 1991).

A parte sobre o Brasil se baseia no Programa de Competitividade Industrial para o Setor Biotecnologia, preparado pela Associação Brasileira das Empresas de Biotecnologia (Abrabi) e submetido à Câmara Setorial de Biotecnologia do então Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento em novembro de 1991. Trata-se de um documento em boa parte prospectivo, oferecendo uma visão dos próximos 10 anos de desenvolvimento da indústria biotecnológica no Brasil, podendo, portanto, ser usado para comparar as previsões com o que de fato vem ocorrendo. Estas comparações se baseiam em dados coletados recentemente pela Abrabi, no trabalho de Glacy Zancan (1992) sobre a formação de recursos humanos para a biotecnologia no Brasil, encomendado pela OEA, e em informações obtidas junto ao CNPq e ao MCT/Decop.

A partir da análise desses dados e das propostas de mecanismos e metas de longo prazo, o trabalho procura fazer uma avaliação da capacidade competitiva da biotecnologia brasileira, no cenário interno e no mercado internacional como um todo. Parte daí para recomendar ações que permitam a implementação do Plano de Competitividade Industrial para o Setor Biotecnologia, sugerindo-lhe

* O autor deseja registrar a excelente colaboração dos seguintes colegas na coleta, elaboração e análise dos dados apresentados: Renato Montandón e Ione Egler, do MCT/Decop; Celina Roitmann, Kumiko Mizuta e Marta Carvalho Humann, do CNPq; Patricia Lanari, da Fundação Bio-Minas; Américo Craveiro, do IPT/SP; Marcos Abilhoa, da Apebi e Biofill; Mário Cézar Cubas, do Centro de Desenvolvimento Biotecnológico de Joinville, SC; Homero Dewes, do Departamento de Biotecnologia/UFRGS; e Marc Diaz, da Fundação Bio-Rio. O autor agradece também o apoio administrativo de Isabel Cruz e Maria José Souza, bem como do *staff* da Abrabi.

algumas correções de curso diante da realidade científica, tecnológica, industrial e sócio-cultural brasileira.

2. O que é biotecnologia

Biotecnologia é toda tecnologia de produção industrial que utiliza seres vivos ou partes funcionais isoladas de seres vivos.

Os processos biotecnológicos são, portanto, de natureza bioquímica e biofísica, isto é, têm geralmente lugar numa ambiência química e físico-química complexa, em que os principais reagentes e/ou catalisadores estão na forma de seres vivos ou de suas partes funcionantes (até o nível de biomoléculas complexas).

A tecnologia da produção biotecnológica consiste no conjunto de técnicas de otimização da manipulação industrial de seres vivos e de suas partes. Incluem-se aí não só as técnicas centrais de obtenção de produtos por via biotecnológica, como também o conjunto de técnicas de processamento desses produtos e de sua conservação até a entrega ao mercado. Essa tecnologia abrange, também, as técnicas gerenciais desses processos e, no seu sentido mais amplo, imbrica-se com a gestão da própria empresa.

A biotecnologia se embasa e interage intensamente com as ciências biológicas, especialmente a bioquímica, biofísica, fisiologia, genética, microbiologia, virologia, parasitologia, farmacologia e imunologia, entre outras. Todas estas áreas são utilizadas como disciplinas instrumentais na manipulação de microorganismos e de células e tecidos vivos de animais e de plantas. A biotecnologia vale-se também de outras disciplinas (ecologia, botânica e zoologia) na seleção de seres vivos naturais diretamente úteis, ou que sejam bons candidatos para manipulação genética final, além de ter importantes correlações com a química fina, especialmente na química de produtos naturais e na engenharia molecular.

A área também tem uma forte interação com as engenharias (especialmente engenharia química, no que tange ao desenvolvimento e à operação de equipamentos e processos de produção, controle e processamento de insumos e produtos biotecnológicos).

A biotecnologia exige uma gestão tecnológica altamente especializada e estratégias mercadológicas e administrativas adequadas. Explora, assim, uma extensa interface com o direito e as áreas de administração de empresas e de economia, todas relevantes para o desenvolvimento de uma biotecnologia competitiva e socialmente ajustada. No campo da gestão tecnológica, desempenha um papel central o que se convencionou chamar de "tecnologia industrial básica" (propriedade intelectual, normalização técnica, controle e certificação de qualidade, licenciamento e, mais recentemente, a regulação do impacto ambiental da experimentação e do uso dos produtos bioindustriais), que é o quadro de referências no qual se desenvolve o jogo do mercado, dentro e fora do país. As regras de acesso ao mercado constituem um fator crítico para o sucesso de um empreendimento, especialmente para os pequenos negócios de base tecnológica.

Finalmente, a atividade empresarial de produção e comercialização de bens e serviços biotecnológicos requer uma ambiência macroeconômica favorável, com destaque, entre outros aspectos, para a disponibilidade de níveis adequados de financiamento e a existência de mecanismos de acesso a esses financiamentos.

Classificação das biotecnologias segundo o grau de inovação tecnológica

A biotecnologia trabalha em dois níveis tecnológicos distintos. O primeiro, conhecido como *biotecnologia clássica* ou *convencional*, trabalha com seres vivos encontrados na natureza e otimizados pela mão do homem para determinada função produtiva, mediante isolamento, seleção e cruzamentos genéticos naturais (ainda que induzidos) entre espécies e variedades sexualmente compatíveis. As técnicas para essa otimização são geralmente práticas laboratoriais e de campo amplamente conhecidas, como também o são as tecnologias não-biológicas necessárias à produção industrial na biotecnologia clássica. Incluem-se nesta classificação vários processos biotecnológicos comuns, baseados em fermentação por microorganismos, como a produção de antibióticos, álcool combustível, vinho e cerveja. Também faz parte da biotecnologia clássica a produção industrial de sementes, inclusive as de híbridos de alta produtividade gerados por técnicas convencionais de melhoramento vegetal, a produção de imunossoros pela imunização de grandes animais, e toda a produção convencional de vacinas.

O segundo nível tecnológico é conhecido como *biotecnologia moderna*,[1] cujo trabalho se inicia com seres vivos naturais para obter outros seres vivos não-encontráveis na natureza, pela aplicação de técnicas não-naturais de seleção, transformação genética e otimização fisiológica. A modificação pode ser genética, utilizando-se a chamada "engenharia genética"(um conjunto de técnicas de biologia molecular) para introduzir características de interesse industrial, cuja transferência ao organismo em causa seria impossível por métodos naturais. Ou pode ser meramente funcional, caso em que se aproveitam certas propriedades especiais de células e tecidos para transformá-las funcionalmente em instrumentos de bioprodução, cujos mecanismos de ação não ocorrem espontaneamente na natureza.

A transformação de uma bactéria comum intestinal (*Escherichia coli*) pela inserção do gene da insulina humana é um bom exemplo do primeiro tipo de biotecnologia moderna, a engenharia genética. A bactéria transformada passa a "expressar" (produzir em quantidade significativa) a insulina humana, que é um polipeptídio característico do homem. Outro exemplo é a introdução do gene da

[1] Utiliza-se por vezes uma subdivisão da biotecnologia moderna em biotecnologias intermediárias e biotecnologias modernas. Biotecnologia moderna seria reservada tão-somente à engenharia genética e à tecnologia de anticorpos monoclonais. As biotecnologias intermediárias, conhecidas há mais tempo, seriam todas as baseadas em alteração e controle do estado funcional de células isoladas.

encefalina humana em um cereal oleaginoso (a colza), que passa a "expressar" no seu grão essa valiosa substância, típica do organismo animal.

O segundo tipo de biotecnologia moderna baseia-se em uma variedade de técnicas da biologia celular, que permitem manusear e controlar o funcionamento celular em condições operacionais bem diversas das naturais. Incluem-se aqui as culturas de células e tecidos de animais e plantas. Além das simples culturas, já por si de interesse industrial (como a "micropropagação de vegetais"), obtém-se a fusão de células de organismos distintos. Esses produtos de fusão são de extraordinário interesse científico e comercial. Exemplo disso são os "hibridomas", produtos de fusão artificial entre células de organismos totalmente distintos, mas que ganham vida própria especializada para a produção *in vitro* de anticorpos monoclonais, moléculas imunes de altíssima especificidade que são de importância na produção de *kits* diagnósticos para a saúde humana e animal. Fazem parte, ainda, das biotecnologias modernas todas as manipulações de partículas subcelulares (como biomembranas e ribossomas) e biomoléculas ditas "constitucionais", como enzimas várias e segmentos de DNA/RNA utilizados como "biossensores" e como "sondas moleculares".

Claramente, o ponto em comum das biotecnologias modernas é a utilização de técnicas sofisticadas e inovadoras de obtenção e de manipulação do ser vivo produtor. O desenvolvimento destas técnicas e da capacidade de inovação neste setor de ponta é um item crítico da estratégia de modernização progressiva e competitividade crescente do enorme mundo das biotecnologias clássicas, agregando mais valor à produção atualmente obtida. Torna-se, além disso, um item estratégico importante por si só, pelo seu potencial de geração de novos produtos para novos mercados até então alheios à biotecnologia.

Produtos da biotecnologia

A biotecnologia — moderna ou clássica — abrange duas categorias fundamentais de produtos: primários e secundários.

São produtos primários da biotecnologia os próprios seres vivos (ou suas partes funcionantes), fabricados pela indústria biotecnológica. Os produtos primários, sejam eles simplesmente selecionados pela genética clássica (biotecnologia clássica) ou transformados pela biotecnologia moderna, podem constituir-se em:

- *produtos finais*, como em alguns casos de produção de biomassa comercializada diretamente ao mercado final;
- *insumos*, como biomassas para processamento industrial posterior, usualmente por outras tecnologias;
- *agentes biológicos de produção*, como em processos fermentativos na indústria química, químico-farmacêutica ou de bebidas fermentadas.

É *primária*, portanto, a produção industrial de seres vivos, utilizando uma gama de processos naturais ou artificiais, induzidos pelo homem. Embora abrangendo desde a seleção genética direcionada até a engenharia genética, esses processos excluem, portanto, a simples reprodução espontânea de animais e vegetais por processos naturais, que caracteriza a agricultura e a pecuária.

São *produtos secundários* da biotecnologia todos aqueles que resultam das operações industriais que utilizam produtos primários como agentes biológicos de produção. Os produtos secundários, que têm impacto em uma ampla gama de mercados, são, em sua maioria, bioquímicos, entregues ao mercado seja como moléculas básicas prontas, que necessitam apenas de "formulação" (como a insulina obtida por via recombinante), ou como insumos químicos a serem incorporados a outros produtos ou consumidos em outros processos produtivos.

3. Estruturação orgânica da indústria biotecnológica

Os atores e suas inter-relações

O entendimento da estruturação da indústria biotecnológica é essencial à compreensão de suas relações não só com o mercado, como também com sua principal "externalidade": sua base científico-tecnológica institucional.

Na biotecnologia — da mesma forma que na informática — raramente a inovação tecnológica atinge seus mercados-alvo através de um pulo direto da bancada de um laboratório acadêmico para a linha de produção de uma grande indústria. No mundo real, a transição passa geralmente por todo um processo adaptativo que implica a interveniência de um grupo de base técnico-científica capaz de traduzir os processos e produtos científicos em processos e produtos industriais. O grupo intermediário pode ser um excelente departamento de P&D de uma grande indústria. Mas em biotecnologia, como em outras tecnologias "de ponta", essa função freqüentemente é desempenhada pelas micro, pequenas e médias empresas de base tecnológica, elo fundamental na tradução da fronteira da ciência em tecnologia produtiva inovadora. Cumpre às empresas de base tecnológica gerar produtos/serviços/tecnologias em formato e quantidades industriais, para mercados-alvo específicos, na maioria das vezes representado por grandes empresas industriais e comerciais, com amplo acesso ao mercado final.

Tendo em vista o exposto, entende-se que: indústria biotecnológica é o conjunto das indústrias geradoras de produtos biotecnológicos primários e secundários. São empresas que utilizam biotecnologias para a geração e/ou transformação de insumos, produtos e serviços.

A indústria biotecnológica compõe-se, *grosso modo*, de dois segmentos distintos (embora com uma "zona cinzenta" de transição):

• *empresas dedicadas à biotecnologia* (*EDBs*; o equivalente, em inglês, às DBCs, *dedicated biotechnology companies*) — são usualmente micro e pequenas (e até médias) empresas, dedicadas principalmente ao desenvolvimento tecnológico e à geração de produtos modernizadores, seja para o mercado final, seja para grandes clientes (produtos biotecnológicos primários ou, verticalizadamente, produtos primários e secundários).

• *empresas de bioprodução* (*EBPs*) — usualmente são médias e grandes empresas que utilizam seres vivos (ou suas partes funcionantes) para a produção industrial de biomassa ou de produtos biotecnológicos secundários dirigidos a mercados de porte significativo. O que caracteriza essas empresas é a sua organização do tipo empresa industrial clássica, com ênfase na estruturação da produção (inclusive controle de qualidade) e da comercialização. Constituem, portanto, um mercado-alvo natural de tecnologias, insumos, produtos e serviços das EDBs.

As EDBs apresentam como ponto forte a capacitação técnico-científica, que lhes garante ligação natural com a base científica institucional da biotecnologia, localizada nas universidades e institutos tecnológicos autônomos. Por outro lado, o seu porte e a sua preocupação central com a tecnologia fazem com que as EDBs tenham duas dificuldades: o acesso ao capital e ao mercado. Assim, embora muitas EDBs sejam formadas com a intenção de se transformarem eventualmente em grandes empresas, isso de fato ocorre apenas com uma minoria (como foi e vem sendo o caso da informática). Desse modo, embora o acesso direto ao mercado final não lhes seja vedado e seja até mesmo desejável, a maioria das EDBs precisa alcançar algum tipo de articulação e equilíbrio com empresas maiores, que podem ser importantes parceiras para resolver precisamente as duas dificuldades citadas. Essa integração operacional abrange toda uma gama de opções, que vai da formação de redes de produtores/consumidores até um relacionamento mais direto e interdependente de terceirização, ou mesmo a incorporação em um grande grupo, como subsidiária ou coligada.

A estratégia de aproximação com as EDBs como elemento fundamental de qualidade, produtividade, competitividade nacional e internacional e lucratividade é uma importante oportunidade para as EBPs. O investimento das EBPs nas EDBs como forma de pré-apropriação da fronteira tecnológica faz parte dessa estratégia. O estabelecimento de consórcios pré-competitivos entre grupos de EDBs e EBPs como mecanismo de desenvolvimento tecnológico rápido tem sido menos comum, embora também seja uma via importante. A existência de um núcleo de pesquisa e desenvolvimento (NPD) nas EPBs, que sirva como elemento de interface com as EDBs e a ciência, é um coadjuvante importante dessas interações, além de fator para a manutenção de uma vanguarda no controle de qualidade e na absorção e desenvolvimento da fronteira tecnológica competitiva.

Boa parte das interações das grandes empresas com a ciência e com as micro, pequenas e médias empresas dedicadas à biotecnologia (EDBs) tende hoje

a se processar na ambiência dos pólos ou parques tecnológicos. Nos EUA, cerca de 70% sobrevivem e progridem se criadas e nutridas na ambiência de um parque tecnológico. A taxa de sobrevivência reduz-se a 30% se essas empresas se instalam independentemente da base científica, fonte permanente de aprimoramento de sua capacidade de inovação.

Os mercados-alvo da indústria biotecnológica

O principal mercado da indústria biotecnológica (EDBs e EPBs) é o conjunto de instituições e empresas que utilizam ou transformam insumos, produtos e serviços biotecnológicos produzidos por essa indústria, incorporando-os em produtos/serviços destinados aos grandes mercados dentro e fora do país. Esse conjunto, que poderíamos chamar de *empresas transformadoras de biotecnologia* (*ETBs*), está subdividido em um certo número de grandes mercados-alvo, listados a seguir. As empresas transformadoras não utilizam biotecnologias. Portanto, tecnicamente, não são parte da indústria biotecnológica. Entretanto, uma empresa tipicamente de biotecnologia pode apresentar-se como mercado dentro da própria indústria, absorvendo como insumos ou fatores de produção os produtos de outras empresas de biotecnologia. É o caso típico da relação EDB/EBP vista anteriormente. Em razão dessa latitude de clientela, as estratégias mercadológicas da biotecnologia organizam-se tendo em mente um certo número de mercados-alvo, a saber:

• *instituições científicas e núcleos empresariais de P&D ativos na biotecnologia moderna* — insumos e serviços biológicos especiais para a pesquisa e o controle de qualidade industrial (*probes* recombinantes e imunológicos; serviços especializados de análise e de síntese de biomoléculas);

• *saúde humana* — produtos diagnósticos e terapêuticos (*kits* diagnósticos, vacinas, imunotraçadores e imunoendereçadores, biofármacos, antibióticos etc.); novos produtos protéticos e cirúrgicos (pele artificial, bioválvulas etc.); hemoderivados; terapia genética; serviços, processos e métodos biotecnológicos de apoio ao diagnóstico, tratamento e prevenção de doenças em laboratórios, clínicas, hospitais, postos de saúde e campanhas de saúde pública, excluídos os veiculados pela indústria farmacêutica;

• *agricultura e pecuária* — melhoramento vegetal clássico e transformação genética de plantas (resistência a doenças, pragas, condições adversas de solo e clima, produtividade, valor nutricional e industrial); condicionamento biológico de solos (recuperação, fixação biológica de nitrogênio, captação de nutrientes inorgânicos críticos para o desenvolvimento das plantas); biopesticidas; diagnóstico e controle fitossanitário; melhoramento de rebanhos e técnicas modernas de repro-

dução e clonagem; diagnóstico, terapêutica e prevenção de doenças de animais; transformação genética de animais;

• *indústria de alimentos e nutrição* — alimentos fermentados sólidos e bebidas, enriquecimento nutricional e outros aditivos, corantes e conservantes;

• *indústria química* — produção de substâncias químicas de importância industrial por fermentação, por biocatálise e por outras biotecnologias;

• *indústrias da biomassa* — produção e processamento de biomassa (proteína unicelular, celulose para papel e energia, álcool, biogás, biofertilizantes e outros derivados de biomassa); meio ambiente (manejo e aproveitamento de rejeitos urbanos e industriais, engenharia ecológica, manejo florestal, despoluição); exploração petroleira (recuperação, desobstrução e tamponamento de jazidas, descontaminação ambiental pós-vazamentos, processos petroquímicos coadjuvantes à perfuração, gomas lubrificantes); mineração (biolixiviação de minérios de baixo teor, biomanejo de resíduos/efluentes, recuperação ambiental);

• *biônica (equipamentos/informática)* — incorporação de produtos primários e secundários da biotecnologia a máquinas e equipamentos (biossensores, *biochips*).

Base científica institucional

Principal "externalidade" da biotecnologia industrial, a sua base científica e tecnológica institucional constitui-se de um conjunto de grupos de pesquisa e pós-graduação localizados em universidades e institutos tecnológicos, ativos em pesquisa básica ("proativa" ou conducente a desenvolvimento tecnológico) e em pesquisa aplicada, relacionadas com a biotecnologia, além de uma certa atividade de desenvolvimento tecnológico propriamente dito.

Cabe às instituições científicas (e aos institutos tecnológicos) a função primordial de formação de profissionais graduados e pós-graduados familiarizados com a pesquisa científica, ao lado da colaboração com escolas técnicas na formação do técnico de nível médio.

Além da excelência individual das lideranças e de boas condições de trabalho, a relação saudável de estímulos e interesses com a indústria biotecnológica e a sociedade em geral requer que esses grupos de ensino e pesquisa tenham uma "massa crítica pensante" capaz de participar, juntamente com a indústria, da análise de problemas e da busca de soluções inovadoras. Calcula-se que o tamanho ideal para um grupo altamente especializado seja da ordem de 40 pessoas, contados desde o líder do grupo e seus principais colaboradores vinculados ao quadro institucional até os pós-doutorandos, os pós-graduados (mestrandos e doutorandos), os estagiários de iniciação científica ou tecnológica, os técnicos de segundo

grau e estagiários de escolas técnicas, além da infra-estrutura administrativa (secretarial) mínima. Atingir essa configuração deve ser uma meta para os grupos científicos que aspiram a uma relação relevante com a idústria.

A interface ciência-indústria

Os núcleos empresariais de P&D

Um departamento ou núcleo de pesquisa e desenvolvimento de empresa cumpre algumas funções fundamentais:

• absorve, traduz e dá assistência a tecnologias prontas adquiridas pela empresa;

• pesquisa e introduz melhorias de processo na tecnologia em uso, em colaboração com os técnicos da área de produção;

• pesquisa e desenvolve novos produtos para o mercado, em colaboração com os técnicos da área comercial e de produção;

• interage com os pesquisadores e técnicos das instituições científicas e empresas no equacionamento de problemas reais do mercado e da linha de produção, propondo e participando de projetos multidisciplinares pré-competitivos, capazes de responder às necessidades atuais da empresa ou de embasar o desenvolvimento de novas tecnologias e novos produtos;

• mantém-se a par do desenvolvimento científico e tecnológico mundial do setor, buscando descobertas e invenções que possam ser incorporadas como novas tecnologias e novos produtos.

Um núcleo de P&D empresarial de bom nível exige uma equipe tão qualificada quanto a dos núcleos das instituições científicas, com os quais deve ser capaz de interagir em igualdade de informação e nível intelectual. As diferenças entre os dois tipos de profissionais reside mais na ênfase de suas atividades do que na sua qualidade.

Caso especial é o do investimento estrangeiro, direto ou em *joint venture*, no qual a fonte primária de tecnologia e sua renovação dependem usualmente de núcleos de P&D fortes, mas localizados no estrangeiro. Trabalhando com tecnologias convencionais ou de ponta, estas empresas podem sobreviver no Brasil com um esforço mínimo de P&D local. Empreendimentos deste tipo, extremamente importantes no desenvolvimento da economia nacional, trabalham estritamente a partir de uma ótica de economicidade e mercado mundial, pouco representando para o domínio de novas tecnologias pela comunidade brasileira de

C&T. Constituem exceção aqueles que optam por desenvolver tecnologia no Brasil, o que poderá se tornar mais freqüente à medida que nosso parque de C&T aumente sua disponibilidade de pessoal altamente qualificado e tenha facilidades atualizadas para pesquisa e livre acesso ao mercado mundial de insumos finos e equipamentos sofisticados.

Nas tecnologias de ponta, merecem destaque as *joint ventures* sob controle tecnológico de capitais nacionais, que podem passar a ser de grande interesse para o desenvolvimento da capacidade nacional em C&T, desde que sejam observadas duas condições fundamentais. A *primeira* é que a *joint venture* se proponha a desenvolver tecnologia própria no Brasil, em colaboração com o sócio estrangeiro, que, além da tecnologia produtiva inicial, trará a *cultura* e a *prática* do P&D industrial. A *segunda* é que se estabeleça uma colaboração internacional profícua (trabalhos científicos e formação de pessoal) entre as instituições científicas relacionadas com os núcleos de P&D das duas empresas (brasileira e estrangeira) formadoras da *joint venture*.

O modelo proposto acima é de importância fundamental para a internalização, no parque nacional de C&T, das bases das tecnologias absorvidas ou geradas pela *joint venture*. Estas bases, que constituem a parte "não-proprietária" (teoricamente de domínio público) da tecnologia, acham-se, na realidade, "ordenadas" de acordo com a lógica própria daquele processo produtivo específico. O acesso a essas bases é essencial para a formação de cientistas e técnicos capazes de trabalhar, pensar e continuar a desenvolver a tecnologia.

Balcões e redes de oferta tecnológica

As relações de intercâmbio e colaboração entre as grandes instituições científicas e as grandes empresas são conhecidas. Baseiam-se fundamentalmente em uma oferta tecnológica existente, que busca clientes para a compra de serviços vários, inclusive consultoria e formação de especialistas. Essas relações podem avançar até projetos colaborativos de P&D, que se tornam possíveis quando, do lado das empresas, existem núcleos de P&D consolidados.

Essas relações diretas das instituições científicas com a grande indústria demandam considerável organização da interface que, usualmente, se situa dentro da própria instituição científica que se dispõe a atender uma seleta clientela através de *balcões de tecnologia*, embasados em bancos de informações sobre a oferta tecnológica institucional. Para cumprir o papel de interface eficiente, esses "balcões de oferta tecnológica" devem ser capazes de prover uma ampla gama de serviços de apoio (assistência técnico-científica, administrativa, financeira e jurídica, inclusive para transferência de tecnologia e propriedade indüstrial). A dificuldade está, naturalmente, na capacidade institucional de ter uma oferta significativa para um mercado variado e, portanto, não-predefinido, no caso das instituições pequenas; a mesma dificuldade é acrescida da usual falta de conhecimento sobre si próprias, típica das instituições de maior porte.

Ao se tentar contornar o problema da oferta tecnológica restrita através da formação de "redes de tecnologia", aumentou-se, em contrapartida, o problema da dificuldade de informação, que rapidamente se desatualiza, tornando-a inócua para os objetivos do cliente. O modelo "rede de tecnologia", hoje potenciado com o "correio eletrônico" e a "conferência eletrônica", já existe nos níveis regional e internacional nos países desenvolvidos; mas será sempre uma estrutura de primeira aproximação quando se trata de desenvolver e transferir tecnologias proprietárias que deverão ser aproveitadas na produção industrial.

As EDBs como mecanismo de interface

Além das naturais dificuldades de diálogo direto ciência-indústria, somente as grandes empresas já inseridas em determinado filão mercadológico têm capacidade financeira de enfrentar atividades realmente inovadoras de P&D, abrangendo a pesquisa científica básica e aplicada. Contudo, o impulso inovador da grande empresa é tolhido pela sua "cultura", avessa à incorporação de inovações que possam colocar em risco suas linhas tradicionais de produtos, que amparam imensas frentes comerciais.

Usualmente, a inovação tecnológica radical entra na grande empresa já de forma pronta ou semi-acabada. Embora a inovação resulte, em grande parte, do trabalho que se realiza nas instituições científicas, são as micro, pequenas e médias empresas de base tecnológica que, usualmente, se situam no caminho do desenvolvimento final das idéias lá iniciadas. Essas empresas de pequeno e médio portes e forte base tecnológica representam, nos EUA, a principal fonte de inovação industrial e de transferência tecnológica entre as comunidades científica e empresarial. Cerca de 84% da inovação tecnológica incorporada ao mercado americano se origina na ação inovadora das micro, pequenas e médias empresas. Em vista disso, a aproximação com as EDBs constitui uma estratégia fundamental de competitividade no mercado para todas as empresas que dependem de produtos biotecnológicos como insumos ou como tecnologia de fabricação de produtos, biotecnológicos ou não.

O papel dos parques tecnológicos

As empresas de base tecnológica, especialmente em setores de ponta como a biotecnologia, trabalham em grande complementaridade com as instituições científicas de que se originaram. Como a baixa capitalização é uma característica típica dessas empresas, elas dependem fortemente de terceiros para equipamentos e facilidades. Costumam ser, também, grandes usuárias de estagiários de nível superior (até pós-doutorandos), pois são um excelente campo de formação complementar destes profissionais. Por todas essas razões, as micro e pequenas empresas de base tecnológica tendem a aglomerar-se em torno dos grandes cen-

tros de produção de ciência, formando parques científico-industriais ou parques tecnológicos.

O efeito de massa crítica intelectual, a racionalização de investimentos em facilidades físicas e equipamentos de grande porte e a indução ao trabalho colaborativo vêm provocando uma tendência crescente para a concentração geográfica da biotecnologia (especialmente a biotecnologia moderna) em torno de alguns grandes núcleos institucionais de ciência e tecnologia.

A principal característica dos parques tecnológicos é a forte concentração geográfica de instituições de pesquisa científica e tecnológica, cercadas por, ou entremeadas com, pequenas e médias empresas de base tecnológica e por departamentos de P&D de grandes empresas engajadas em tecnologia de ponta. Além da simples convivência física, um parque tecnológico deve assegurar mecanismos autônomos e eficientes para:

• cooperação entre instituições científicas, empresas e escolas técnicas na formação, aperfeiçoamento e educação continuada de recursos humanos para a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico;

• colaboração entre instituições científicas e empresas para a *pesquisa científica* e o *desenvolvimento tecnológico*, com especial atenção para a colaboração pré-competitiva entre empresas, em forma consorciada (propriedade comum de resultados);

• apoio gerencial e técnico-científico para empresas nascentes, em regime de *incubadora de empresas*;

• *apoio gerencial e técnico-científico* para a implantação de centros de P&D e de industrialização de tecnologias avançadas nas empresas associadas, residentes ou não;

• *captação de recursos financeiros* públicos e privados (capital de risco, financiamentos, contratos) e mobilização de *incentivos fiscais* para a implantação e consolidação de atividades de P&D nas empresas;

• *racionalização de investimentos*, através da complementaridade e utilização compartilhada das principais facilidades de grande porte ou alta especialização, entre instituições científicas e empresas.

• *promoção de intercâmbio e colaboração científica* com outros centros, pólos e empresas no Brasil e no exterior;

• incentivo à *captação e absorção externa de tecnologias* e ao estabelecimento de *joint ventures* em torno de produtos, tecnologias e seu desenvolvimento cooperativo;

• estabelecimento de *núcleos de controle e certificação de qualidade de produtos*, como parte intrínseca de uma ação permanente de promoção da qualidade como base do *marketing* de um conjunto de empresas de alta tecnologia.

4. Situação da biotecnologia no mundo

A análise que se segue se restringe à *biotecnologia moderna*, já que a biotecnologia industrial clássica tem seus bioprocessos e bioprodutos bem estabelecidos, em um mercado internacional amplo e, até agora, pouco exigente em termos de tecnologias inovadoras. A biotecnologia clássica não constitui, portanto, uma tecnologia de ponta e pode ser tratada como um mercado-alvo para a biotecnologia moderna, esta, sim, de caráter estratégico, pelo seu potencial inovador e por suas relações com o desenvolvimento científico e tecnológico.

A atual biotecnologia industrial moderna (ligada aos variados usos das técnicas da biologia celular e molecular) baseia-se em desenvolvimentos científicos do final das décadas de 50 e 60 que, liderados pela "engenharia genética", abriam tantas e tão fantásticas oportunidades de transformação da qualidade de vida e de substituição de tecnologias antieconômicas que, já nos anos 70, começou a se constituir, nos países centrais (principalmente nos EUA), uma nova categoria de empresas de base tecnológica: as EDBs.

A indústria biotecnológica moderna nos EUA

Tendo em vista seu papel pioneiro e de líder inconteste da atividade produtiva biotecnológica moderna, a experiência dos EUA foi tomada como principal referencial neste trabalho.

São três as características fundamentais da indústria biotecnológica moderna americana.

Primeiro, ela se originou e se fortaleceu através de EDBs. A maior parte dessas EDBs originou-se por *spin off* do ambiente universitário, embora, em alguns casos, EDBs tenham sido criadas como *spin out* de indústrias biotecnológicas clássicas de maior porte, ou de indústrias usuárias de produtos biotecnológicos.

Segundo, ela guardou, ao longo do seu crescimento, relações íntimas com a sua base técnico-científica. Uma maioria começou dentro ou ao lado de grandes centros de pesquisa; e cresceu na vizinhança geográfica desses centros geradores, guardando com eles laços importantes de intercâmbio e fertilização cruzada, quase sempre informais. O aproveitamento da estruturação em parques tecnológicos é um dos pontos fortes da biotecnologia industrial americana. Localizam-se

em 15 parques tecnológicos periuniversitários 85% das 1.231 EDBs recenseadas em 1993 por Stephen Burril (Burril & Lee, 1991).

A terceira característica refere-se ao estilo peculiar de capitalização e financiamento utilizado pela indústria biotecnológica moderna americana para trazer os resultados da ciência para a linha de produção e o mercado. Contrariamente a outras áreas da fronteira tecnológica, cujo desenvolvimento industrial foi, e continua sendo, fortemente subsidiado por recursos governamentais sob a capa de "ciência e tecnologia de interesse estratégico", as EDBs biotecnológicas criaram-se e se desenvolveram quase exclusivamente com recursos privados, predominantemente na forma de capital de risco (ver seção 7, subseção "Condições estruturais para o financiamento da biotecnologia moderna no Brasil").

No final dos anos 70 e início dos 80, a indústria biotecnológica moderna nos EUA teve um momento de grande promessa e euforia no mercado financeiro. Numerosas empresas foram criadas, cada uma com um produto de impacto em fase de desenvolvimento e com planos de tornar-se uma empresa verticalizada de médio e grande portes e ter acesso a mercados finais em escala mundial. A oferta de abertura do capital dessas empresas gerou uma resposta entusiástica do público investidor, resultando na forte capitalização dessas EDBs, o que permitiu que planejassem longos períodos de pesquisa e desenvolvimento em busca de produtos radicalmente inovadores. A formação dessas EDBs drenou, em grande medida, a disponibilidade de pessoal formado pelas universidades nos campos da biologia molecular e da imunobiologia, oferecendo carreiras meteóricas e altas remunerações.

Ocorre que os produtos inovadores demoraram a sair dos laboratórios das EDBs e demoraram mais ainda a transpor o obstáculo regulatório das áreas médica, agrícola e ambiental. Agências como a Food & Drug Administration (FDA) e a Environmental Protection Agency (EPA), que, além de seus rigores próprios, tiveram que responder a numerosas preocupações levantadas pela sociedade organizada no que tange à segurança dos produtos biotecnológicos para o homem e para o ambiente, foram forçadas a rever diretrizes originalmente desenvolvidas para outros setores de atividade e a negociar com o Congresso e a indústria interessada um conjunto de regras e mecanismos capazes de proteger o interesse público sem bloquear, contudo, o desenvolvimento científico e industrial da biotecnologia, ou seu acesso ao mercado.

Toda essa demora desanimou os investidores de risco e os tomadores de ações ofertadas às bolsas de valores, decorrendo daí uma acentuada queda da cotação da biotecnologia, entre 1986 e 1989. Mas nesse momento os primeiros produtos de impacto orientados para o diagnóstico e a terapêutica em saúde humana começaram a atingir o mercado interno americano, com vários deles alcançando vendas anuais na faixa dos US$100 milhões a US$200 milhões, colocando-os, portanto, na categoria dos *block-busters* da indústria farmacêutica. Com esses sucessos e centenas de novos produtos em fase de licenciamento na FDA, o quadro de interesse financeiro reverteu-se e houve um grande afluxo de

capitalização em ofertas públicas em 1990-91. A oferta pública de capitais para a biotecnologia industrial aumentou em 100%, entre julho de 1991 e janeiro de 1992, quando atingiu um pico sem precedentes. Embora tenha decrescido no primeiro semestre de 1992, sua tendência atual é de manter-se 36% acima do seu nível de julho 1991 (*Dow Jones biotech index*). No mesmo período, o crescimento da oferta de capital público para a grande indústria americana em geral aumentou apenas 12% (*Dow Jones industrial index*).

Esses indicadores devem ser tomados com cautela no caso da biotecnologia, pois flutuações apreciáveis podem ocorrer devido ao número relativamente pequeno de companhias que compõem o setor e à sensibilidade do público investidor à seqüência de notícias de sucessos e insucessos tecnológicos e regulatórios da nova indústria. Mas não há dúvida de que os capitalizadores de risco apostaram certo e estão retornando a si próprios e aos seus clientes lucros interessantes. O exame do desempenho de um dos principais fundos de capital de risco mostra 61% de lucro médio anual no período 1976-86 (os fundos são constituídos por prazo fixo e são terminados inexoravelmente pela liquidação do patrimônio mobiliário acumulado). Esse exame mostrou também que os investimentos biotecnológicos (cerca de um terço do total deste fundo de capital de risco) foram mais rentáveis e mais previsíveis que os demais.

Com esse quadro geral, são os seguintes os grandes números da biotecnologia americana moderna no ano fiscal 1991-92:

- *número de EDBs* — 1.231, das quais 225 abertas ao público (ver distribuição por mercado-alvo na tabela 1);

Tabela 1
Distribuição das EDBs por mercado-alvo
(%)

Mercado-alvo	Empresas abertas	Total
Terapêuticos	66	38
Diagnósticos	17	28
Insumos especializados	7	16
Ag-biotech	9	10
Indústria química, meio ambiente e serviços	1	8

- *receita anual total da indústria* — US$8,1 bilhões (73% em vendas de produtos; 27% em outras receitas, principalmente *royalties*, contratos e *grants* de P&D);

• *receita anual do segmento aberto ao público* — US$4,5 bilhões (produtos, 75%; outras, 25%; ver distribuição por mercado-alvo na tabela 2);

Tabela 2
Distribuição por mercado-alvo da receita anual do segmento das EDBs aberto ao público
(US$ bilhões)

Mercado-alvo	Receita
Terapêuticos	3,02
Diagnósticos	0,51
Insumos especializados	0,81
Ag-biotech	0,12
Indústria química, meio ambiente e serviços	0,02

• *investimento total nas EDBs* — abertas, US$8,2 bilhões; total, US$13,6 bilhões;

• *número de empregados* — abertas, 37 mil; total, 79 mil; número estimado de cientistas na indústria, 18 mil; receita média por empregado, US$103 mil;

• *gastos com P&D biotecnológico no total das empresas* — US$4,9 bilhões (gasto médio P&D/empregado, US$62 mil; gasto médio/cientista, US$270 mil);

• *base técnico-científica institucional da biotecnologia* — número estimado de cientistas em instituições de pesquisa, 10 mil; gastos com a pesquisa biotecnológica institucional, US$2 bilhões (valor estimado para o ano fiscal 1991-92); gasto médio/cientista, US$200 mil;

• *gastos totais com P&D biotecnológico americano* — US$6,9 bilhões, dos quais US$3,4 bilhões (49%) do governo federal e US$3,5 bilhões (51%) de outras fontes, predominantemente de capital privado.

A indústria biotecnológica moderna americana tem, portanto, como setor líder a saúde humana (especialmente diagnósticos e biofármacos) que, com base em projeções conservadoras de crescimento de vendas nos EUA, deve atingir US$50 bilhões de dólares anuais no ano 2000. Esse número corresponde à metade do que foi previsto há 10 anos para a biotecnologia moderna em todo o mundo, que totalizava US$100 bilhões anuais.

Outro setor que desponta como promissor no cenário americano da biotecnologia moderna é a *ag-biotech*, a biotecnologia voltada para o *agribusiness* (que no conceito americano engloba a agricultura, a pecuária e as indústrias transformadoras nos setores de alimentos, bebidas etc.). A FDA baixou, em 1992, uma diretriz estabelecendo que alimentos e bebidas obtidos por biotecnologia não exibem qualquer perigo especial para o ser humano além daqueles referentes aos seus congêneres naturais ou artificiais não-biotecnológicos. Em conseqüência, espera-se para os próximos anos um grande surto de desenvolvimento das EDBs deste setor, já com vários produtos represados, à espera de aprovação. Estima-se, para o ano 2000, que a *ag-biotech* venha a vender nos EUA cerca de US$10 bilhões anuais.

Finalmente, os gastos de P&D da indústria biotecnológica americana, no valor de US$4,9 bilhões anuais, são, em parte não-desprezível (US$1,4 bilhão), cobertos por fontes possivelmente governamentais, na forma de *grants* e contratos de P&D, embora não tenha sido possível confirmar esta hipótese.

A biotecnologia moderna em outros países

Preocupado com a competitividade da indústria biotecnológica moderna americana, o Office of Technology Assessment do Congresso americano promoveu um estudo comparativo da biotecnologia nos EUA com 16 outros países, incluindo os países fortes ou promissores em biotecnologia (Israel foi a única ausência notável nesse grupo, no qual o Brasil figurou como único representante latino-americano). Desse trabalho e do acompanhamento da indústria feito pela Ernst & Young/San Francisco, apenas a CEE e o Japão foram considerados, no momento, como mais competitivos. A qualidade e porte relativamente significativo das respectivas forças científicas, a presença de setores bioindustriais e agrícolas modernos e fortes e a prioridade que vêm dando à biotecnologia como fonte de inovação em diversos setores da economia são dados importantes dessa competição, que atingiu mais duramente os americanos a partir de 1989, quando grandes conglomerados europeus e japoneses começaram a entrar agressivamente no reduto de saber biotecnológico americano através de mecanismos de capitalização, aquisição de controle e formação de *joint ventures* com EDBs promissoras. Esses movimentos do capital europeu e japonês foram, em parte, ditados pela urgência em se qualificar tecnologicamente na fronteira de uma área estratégica para o domínio de grandes mercados futuros (particularmente o químico, o energético, o agroalimentar e o de saúde humana e animal).

Eram as seguintes as características da biotecnologia no Japão (segundo a Ernst & Young):

• havia forte apoio empresarial nos setores farmacêutico, químico, e de alimentos, energia e agricultura;

• havia forte apoio do governo;

• já existiam mais de 500 EDBs;

• empresas japonesas se concentravam em investir e estabelecer intercâmbios tecnológicos com as melhores empresas americanas e européias de biotecnologia moderna;

• o domínio da biotecnologia no mundo até o ano 2000 foi estabelecido como prioridade nacional;

• no ano 2000, os japoneses esperam contar com um mercado interno para biotecnologia moderna de 15 trilhões de ienes (cerca de US$130 bilhões), a partir do seu valor atual de US$2 bilhões aproximadamente.

Eram estas as características da biotecnologia na Comunidade Econômica Européia (segundo a Ernst & Young):

• a Europa tinha seis das 10 principais companhias farmacêuticas do mundo;

• a CEE estava investindo fortemente em aquisições e *joint ventures* no exterior (principalmente nos EUA);

• a indústria de capital de risco aumentou seus investimentos na Europa para cerca de US$100 milhões em 1990;

• a Comissão da Comunidade Européia planejava investir US$1,2 bilhão em pesquisa biotecnológica de fronteira nos próximos 10 anos;

• o mercado europeu de substâncias bioquímicas deveria alcançar, em 1993, a cifra de US$500 milhões;

• a Europa tinha potencial para programar, coordenadamente, uma expansão de 2 milhões de trabalhadores no seu mercado de mão-de-obra biotecnológica.

Embora vários outros países emergentes tenham investido com entusiasmo na biotecnologia moderna como uma saída inovadora e multiplicadora importante, nenhum deles — inclusive o Brasil — tem condições de competir com os EUA, com a CEE ou com o Japão neste momento. Entretanto, dada a natureza isolada do ato inventivo e a riqueza de alguns desses países em germoplasma animal e vegetal e em microorganismos exóticos, nenhum deles, no momento, está automaticamente excluído da fronteira biotecnológica. Entretanto, tomar parte ativa na corrida biotecnológica para o terceiro milênio é uma questão que exige

planejamento e determinação não apenas "política", envolvendo os atores do processo na indústria, na academia e no mercado investidor.

5. A biotecnologia industrial no Brasil

Situação no início da década de 80

No início da década de 80, importantes instituições científicas, institutos tecnológicos e empresas de biotecnologia clássica se distribuíam por várias regiões do país, com uma concentração grande no Sudeste e Sul (de Minas Gerais ao Rio Grande do Sul). Embora as relações profissionais e humanas entre instituições de P&D fossem boas, ressentiam-se naturalmente do distanciamento geográfico e da inexistência de uma rede efetiva de comunicações e informações que facilitasse o trabalho colaborativo. Por outro lado, as relações entre centros científicos e empresas ainda eram pouco desenvolvidas.

A biotecnologia clássica nos grandes setores usuários de base agrícola (principalmente indústrias de biomassa, como as relacionadas com o Pró-Álcool e a produção de celulose, madeiras e carvão vegetal) estava bem estabelecida e se satisfazia com seus sucessos no mercado, o mesmo ocorrendo com o setor de bebidas fermentadas. Embora necessitassem de modernização tecnológica (inclusive biotecnológica) e de aprimoramento de seus padrões de qualidade total diante de demandas competitivas crescentes dentro e fora do país, esses setores pouco demandavam da base nacional de ciência e tecnologia. A própria distribuição geográfica dos grandes empreendimentos de base biotecnológica clássica, necessariamente localizados de acordo com os respectivos nichos edafoclimáticos e/ou mercadológicos, conspirava, num país de dimensões continentais, contra a efetiva aproximação técnico-científica entre a indústria e os centros acadêmicos mais avançados, localizados nos grandes centros culturais urbanos.

O Sistema Nacional de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Assistência ao Agricultor (Embrapa/Emater), fortalecido a partir da década de 70 em complementação às importantes universidades agrícolas da primeira metade do século, procurou neutralizar este distanciamento através da formação de uma extensa rede de centros nacionais e unidades espalhados pelo Brasil, quase todos com excelentes instalações e nível técnico, além de bom entrosamento com redes congêneres estaduais, algumas também de bom nível técnico. Esse sistema vinha suprindo com eficiência as demandas variadas da agricultura e da biotecnologia clássica, nas áreas de melhoramento genético de vegetais, de manejo de solos e de melhoramento de rebanhos. Com o apoio dessa base, foram bem assimilados pelo Brasil os progressos da genética clássica e da revolução verde, com importantes empresas de sementes (nacionais e estrangeiras) e um número crescente de empresas engajadas com tecnologias mais modernas de manejo, desenvolvimento e reprodução de animais de alto nível para o abate e a produção de leite,

ovos etc. Entretanto, pela forte tradição de atividade voltada para o campo, todo esse contingente detinha pouco embasamento científico em biologia celular e molecular, distanciando-se, portanto, dos avanços da biotecnologia moderna que ocorriam na área biomédica, o que, aliás, se aplicava à pesquisa agrícola em todo o mundo.

A situação na área biomédica brasileira do início dos anos 80 era diferente, com grupos expressivos trabalhando na fronteira do desenvolvimento da biologia celular e molecular em alguns centros mais avançados, onde a aproximação da pesquisa básica e aplicada com a atividade médica de alto nível ocorria vegetativamente, em particular nos hospitais universitários de bom padrão, com atividades de residência e pós-graduação nas especialidades profissionais. Era também notável nos grandes institutos federais e estaduais voltados para a saúde, particularmente o Instituto Oswaldo Cruz, transformado em fundação pública e no grande instituto nacional de saúde pública brasileiro.

Entretanto, a aproximação com a indústria farmacêutica, uma das grandes beneficiárias internacionais da pesquisa biomédica, virtualmente inexistia, já que nela foi mais acentuado o processo de desnacionalização subseqüente à transformação tecnológica, quando, no pós-guerra, a indústria deslocou a ênfase em produtos naturais para a síntese química fina. Considerada forte até 1945, a indústria farmacêutica brasileira — amparada na riqueza de flora e fauna farmacologicamente exótica do Brasil — não acreditou na revolução da tecnologia química, não investiu em pesquisa científica e tecnológica no setor, tornando-se incapaz de resistir à pressão de mercado por uma tecnologia superior. Em 1980, a indústria farmacêutica nacional detinha apenas 15% do mercado. Reduzida na sua capacidade econômica a sobreviver a partir das "sobras" da exploração internacional do mercado interno, a indústria farmacêutica nacional foi progressivamente se desqualificando. Nem mesmo a política de substituição de importações ou a discutível abolição, em 1971, do patenteamento no setor saúde e alimentos, constituíram incentivo suficiente para promover seu fortalecimento tecnológico e econômico. A área químico-farmacêutica desenvolveu-se, assim, no contexto de um mercado desequilibrado, onde empresas multinacionais trabalhavam fundamentalmente com tecnologia importada de suas matrizes, cercadas das precauções típicas que resguardam o sigilo industrial. Embora algumas multinacionais tivessem implantado estruturas de pesquisa e desenvolvimento, essas dependiam totalmente de suas matrizes e se limitavam a inovar apenas na adaptação de formulações às condições nosológicas, sanitárias e econômicas do mercado-alvo. Salvo raras exceções, a atividade interna de P&D nas empresas virtualmente inexistia, confundindo-se quase sempre pesquisa com controle de qualidade de insumos e produtos. Com isso, restou algum espaço produtivo apenas para institutos como a Fiocruz, que se dedicaram a produzir e/ou formular vacinas para a saúde pública, área em que as características de um mercado monocliente não estimulavam a entrada das multinacionais.

O esforço para entrar na corrida biotecnológica

Em decorrência do que já foi exposto, o advento das modernas tecnologias biológicas, desenvolvidas no Primeiro Mundo em íntima articulação com a indústria químico-farmacêutica e a agroindústria multinacional, fazia prever um agravamento do quadro de isolamento dos segmentos modernos das biociências no Brasil. No início da década de 80, tanto o empresariado quanto o governo já estavam conscientes desse problema, e datam dessa época alguns esforços importantes no sentido de corrigir essa desarticulação.

Ação indutora do governo

Na área governamental, foi criado em 1981 o Programa Nacional de Biotecnologia (Pronab), com um subprograma de engenharia genética. Gerenciado pela Finep, o Pronab teve a virtude de cristalizar, na comunidade científica das biociências, uma atitude de comprometimento consciente com a necessidade não só de desenvolver a base científica, como também de levar seus produtos inovadores às prateleiras das farmácias e supermercados. Embora nesse último aspecto o Pronab — fortemente controlado pela comunidade científica — não tivesse tido bons resultados, ele certamente serviu para aportar um reforço de financiamento para grupos de ensino e pesquisa comprometidos com a idéia. Todos eles figuram hoje entre os centros mais fortes de biologia celular e molecular básica e aplicada do país. O Pronab serviu, também, para caracterizar a biotecnologia (especialmente a moderna) como "área estratégica" para o país.

O passo seguinte na iniciativa governamental foi o PADCT. Nascido da idéia de conferir avanço competitivo a determinados setores de "ponta tecnológica" considerados estratégicos, o PADCT congregou demandas importantes de vários setores, que convergiram para um grande empréstimo com o Banco Mundial. O PADCT começou a operar experimentalmente em 1984 e implantou-se de forma definitiva para um período de cinco anos (1985-90), renovado para o qüinqüênio subseqüente (1990-1995). Como a biotecnologia foi um dos setores contemplados, foi possível, através do PADCT, consolidar e ampliar as ações do Pronab; mas somente no final do PADCT I conseguiu-se caracterizar plenamente, na área biotecnológica, o importante papel da participação da empresa privada, sobre o qual recaiu a ênfase do PADCT II no subprograma de biotecnologia. Através dele, o governo federal canalizou para a biotecnologia US$22 milhões no período 1984-90, complementados por US$40 milhões (que deveriam ser duplicados com *matching funds* internacionais) no período 1990-95. Infelizmente, dificuldades de contratação e de desembolso na própria área governamental diminuíram sensivelmente o impacto que o PADCT poderia produzir na base científica da biotecnologia.

Logo após o início do PADCT, com a transição do governo militar para o civil, foi criado o Ministério de Ciência e Tecnologia, no âmbito do qual se estru-

turou uma secretaria (especial) de biotecnologia, encarregada de coordenar as ações de vários programas públicos na área, inclusive o PADCT. Duas outras importantes iniciativas do governo Sarney tiveram um impacto positivo no desenvolvimento da biotecnologia: o CBAB/Cabbio (Centro Brasileiro-Argentino de Biotecnologia) e o Programa RHAE (Recursos Humanos para as Áreas Estratégicas). O primeiro, iniciado com o estímulo aos acordos de cooperação que, mais tarde, convergiriam para o estabelecimento do Mercosul, chegou a financiar projetos binacionais científicos e de pesquisa empresarial, embora logo viesse a se caracterizar por um comportamento oscilante, devido a dificuldades financeiras dos governos brasileiro e argentino. O Programa RHAE, que consistia na concessão de uma cota significativa de bolsas de estudo e aperfeiçoamento, com ênfase em atividades de P&D na indústria e nas áreas de pesquisa institucional mais claramente ligadas à biotecnologia e demais setores estratégicos, sofreu oscilações depois de um início promissor, e agora tende a se estabilizar com um número anual de bolsas mais baixo que o originalmente previsto.

A própria estrutura do Ministério de Ciência e Tecnologia sofreu oscilações espantosas desde sua criação, em 1985. Ainda no governo Sarney, depois de uma curta gestão de nada menos que três ministros, foi extinto e passou a secretaria, para ressuscitar como ministério em 1989, já no final do governo. Retornou à condição de secretaria durante os dois anos e meio do governo Collor, para, em seguida, voltar a ministério. Esse período de incertezas acarretou um enfraquecimento da capacidade de coordenação do ministério/secretaria, não só no âmbito nacional e interministerial, como também no âmbito das ações concertadas entre as suas próprias agências, o CNPq e a Finep. Essas indefinições se refletem na gestão e na eficácia de programas como o PADCT, o RHAE e o CBAB/Cabbio. Acresce a isto o descalabro que progressivamente dominou o financiamento da ciência e tecnologia durante o governo Collor, que afetou não somente a biotecnologia como também toda a estrutura federal de apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico, operada pelas agências financiadoras do MCT — CNPq e Finep — e pela Capes/MEC. Apenas alguns setores, como instituições tecnológicas e de ensino superior ligadas a outros ministérios (Embrapa/Mara; Fiocruz/MS; institutos militares) e a pouquíssimos estados (especialmente São Paulo), conseguiram escapar do sucateamento de laboratórios e desperdício/evasão de cérebros. A base científica da biotecnologia, nos seus segmentos dependentes do governo federal, foi a que mais se ressentiu. O Rio de Janeiro, por exemplo, que em 1986 detinha a maior concentração nacional de ciência biotecnológica de alto nível em um único centro urbano — sede da UFRJ e da Fiocruz — perdeu-a para São Paulo em 1992, em função de um grande movimento de *brain-drain* interno.

Nesse quadro, o governo federal estimulou, desde 1985, a consolidação de redes colaborativas regionais de biotecnologia, envolvendo instituições científicas/tecnológicas e empresas. Para estas redes — denominadas Centros Integrados de Biotecnologia (CIBs) — previu-se um esquema flexível, adaptado às

peculiaridades regionais. Vários programas de coordenação de âmbito estadual foram lançados em resposta a esses estímulos, casos de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Outros estados optaram por uma concentração geográfica de esforços na forma de pólos ou parques tecnológicos concentrados, como os do Rio de Janeiro/Bio-Rio e de Santa Catarina/CDB). Da mesma forma que as demais atividades de coordenação e financiamento, também estas experimentaram acentuado declínio no que concerne à presença governamental a partir de 1989. Mas a idéia do parque tecnológico em torno de uma "incubadeira de empresas" conseguiu se estabelecer e frutificar.

Dados extraídos do Orçamento da União e das FAPs estaduais revelaram, no quadriênio 1985-88, um dispêndio de recursos públicos para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico das biociências e da bioindústria que totalizou US$175,9 milhões, assim distribuídos: instituições científicas, 95%; indústria (co-financiamento), 5%.

Ações da indústria

A indústria nacional de biotecnologia também experimentou um grande dinamismo na década de 80, que declinou progressivamente a partir de 1989/90, na tentativa de se adaptar às condições de um quadro econômico cada vez mais difícil.

Na área agrícola, o melhoramento genético clássico continuava a dar excelentes frutos, com o desenvolvimento de linhagens novas de cereais e hortaliças. Em 1992, foi criado, na UFRJ, o Programa de Biotecnologia Vegetal, que atuava na confluência do melhoramento vegetal e da nova biotecnologia vegetal. Um grupo de cientistas ligado a esse programa iniciou gestões para a formação de uma empresa de biotecnologia vegetal. Com estudos preliminares financiados por capitais de risco do Rio de Janeiro (Petróleo Ipiranga, Monteiro Aranha e particulares), foi finalmente criada em 1983 a Biomatrix Ltda., produtora de mudas micropropagadas por cultura de tecidos *in vitro*. Em 1985, a empresa foi transformada em Biomatrix S.A., com a entrada da Agroceres como sócia controladora. A empresa implantou-se fisicamente em 1986, em Teresópolis, RJ, com um investimento inicial previsto de US$1,5 milhão, depois ampliado para cerca de US$5 milhões nos anos subseqüentes. A empresa especializou-se em plantas lenhosas (particularmente eucalipto) e na produção de batata-semente livre de vírus, totalmente absorvida pela própria Agroceres, no seu então novo negócio binacional de batata com a Argentina. Em janeiro de 1990, época em que a empresa ainda não atingira o *break even* operacional, suas atividades foram suspensas pelo sócio-controlador. A Biomatrix, que durante sua existência de um qüinqüênio chegou a ter 96 empregados, mantinha um convênio abrangente e criativo de auxílio financeiro e cooperação técnico-científica com o Programa de Biotecnologia Vegetal da UFRJ. Através desse convênio, foram iniciadas várias atividades de pesquisa na universidade. A Biomatrix foi colaboradora importante

no estabelecimento do grupo de Biologia Molecular Vegetal, que hoje funciona no Departamento de Genética, e participou também de projetos de P&D binacionais, através do CBAB/Cabbio, além de dispor, desde 1989, de uma cota de bolsas RHAE.

Quase na mesma época, foi criada, perto de Campinas, SP, a Bioplanta, outra empresa de biotecnologia vegetal, resultante de *joint venture* entre a Souza Cruz (British-American Tobacco) e uma empresa americana de cultura de tecidos vegetais (Native Plants Inc.). Com uma linha de produção e comercialização similar à da Biomatrix, a Bioplanta se beneficiou, desde a sua implantação, de um maior aporte de capitais, eventualmente superior a US$20 milhões, em 1989, quando também foi obrigada a suspender suas atividades. Por se tratar de empresa controlada por capital estrangeiro, a Bioplanta não procurou (nem era elegível) apoios do tipo PADCT, RHAE e CBAB/Cabbio. Ainda assim, manteve importantes vínculos de colaboração com a Unicamp e a Esalq/USP.

Estes dois exemplos de insucesso empresarial de grupos experimentados ao lidarem com a terceirização da biotecnologia vegetal intermediária (cultura de tecidos vegetais) deram margem, no Brasil, a previsões negativas sobre a biotecnologia vegetal moderna como um todo. O exame desses casos deixa claro, contudo, que o insucesso nada teve a ver com a biotecnologia, e sim com a pouca familiaridade de ambos os grupos empresariais com a implantação da tecnologia, o desenvolvimento industrial e a comercialização de produtos relativamente simples como mudas clonadas e batatas-semente. Acrescente-se a isso dificuldades de ordem gerencial típicas de grandes grupos, que normalmente não dispõem de mecanismos nem de tempo para lidar com pequenos empreendimentos de base tecnológica, cujo controle facilmente lhes escapa no âmbito global da administração corporativa. Em que pesem essas constatações, foi perfeitamente lógico e previsível o recuo da Agroceres e da Souza Cruz diante de um quadro nacional de dificuldades crescentes no setor agrícola, em 1989, associado ao aprofundamento da recessão econômica no Brasil e a uma onda de descrédito da biotecnologia que varreu as bolsas de valores americanas entre 1987 e 1988, tendência que, de resto, foi totalmente revertida.

Agroceres e Souza Cruz mantêm, hoje, atividades de P&D em biotecnologia vegetal clássica e intermediária, da mesma forma que um grupo apreciável de empresas ligadas aos setores florestal e sucro-alcooleiro. É importante destacar que vários desses grupos começam agora a buscar, no exterior e no Brasil, vínculos e transferências tecnológicas na área da biotecnologia moderna. Embora todos os grupos brasileiros de qualidade nessa área estejam se envolvendo com parceiros empresariais, a comunidade científica brasileira ainda está desaparelhada para tirar o máximo proveito dessas oportunidades.

A fração do empresariado nacional ativa no setor químico-farmacêutico que investiu em biotecnologia moderna foi, de fato, pequena. São casos típicos a Biobrás e a Microbiológica.

A Biobrás iniciou suas atividades na década de 70, como a primeira empresa brasileira de biotecnologia. Inicialmente dedicada à produção de enzimas industriais, tinha como base científica e origem o grupo de bioquímicos da UFMG, de onde saiu o fundador e diretor-científico da empresa. Ingressou, mais tarde, na produção de insulina por técnicas extrativas de pâncreas animal, tendo, nessa fase, estabelecido uma *joint venture* com a Lilly, poderosa indústria farmacêutica americana e internacional. A fábrica, montada em Montes Claros, MG, continua a produzir insulina por meios tradicionais. Mas a atividade continuada de P&D em associação com a UFMG permitiu a comercialização de uma insulina animal "humanizada" pela ablação enzimática de certos radicais. Mais recentemente, a partir de um projeto de P&D de grande porte, em que a empresa colaborou com a UnB, a USP e a EPM, foi obtida uma insulina humana produzida por microorganismos "engenheirados" inteiramente no Brasil. Com isso, a Biobrás torna-se a terceira empresa no mundo a dominar, com tecnologia própria, a produção da insulina humana recombinante (as outras são a Lilly e a Novo Industri). A Biobrás é um caso interessante, pois mantém-se viável e rentável como empresa de porte médio, apesar de seus investimentos em P&D e de ter passado por uma fase de implantação e consolidação bastante tumultuada até abrir seu capital. Como uma empresa inicialmente pequena, de pequenos sócios detentores de alta tecnologia, teve sobre a Biomatrix e a Bioplanta uma vantagem: tinha de dar certo de qualquer maneira.

A Microbiológica iniciou suas operações no começo da década de 80, como uma produtora de insumos biológicos finos (meios de cultura e soro fetal bovino para cultura de células animais e humanas). Seus fundadores são professores universitários da UFRJ e pequenos investidores. Após alguns anos de indefinição, a empresa deu uma guinada na direção da química fina, e hoje é a única produtora brasileira de AZT (para Aids), obtido por processo próprio. É, também, a única produtora nacional de hormônios vegetais. No transcorrer desse processo, a companhia produziu dois *spin outs*, ambos pequenas empresas instaladas no pólo Bio-Rio: a WL Imunoquímica, que fabrica *kits* diagnósticos e produtos imunológicos, inclusive soro fetal bovino, e a Baktron, que atua no ramo do controle de qualidade microbiológico para alimentos e produtos domissanitários. A WL Imunoquímica, após quintuplicar seu capital, entrou em 1993 em fase de expansão acelerada, lançando um produto novo a cada dois meses. As três empresas citadas mantinham estreitas relações de colaboração com a UFRJ e com algumas outras universidades, para atividades de pesquisa e desenvolvimento. Todas eram beneficiárias de programas de incentivo, como o PADCT e o RHAE. A Microbiológica e a WL têm processos patenteáveis desenvolvidos à espera da liberação legal do patenteamento no setor de saúde.

Ainda na área de saúde humana, outro interessante caso de sucesso é o da Biofill, pequena empresa paranaense nascida da associação de um médico e um técnico de laboratório, que tiveram a idéia de patentear o uso de monocamadas de celulose produzidas por bactérias como substituto de pele em grandes queimadu-

ras e outros usos. Apesar da defecção, de última hora, de um dos investidores brasileiros quase ter ameaçado a viabilidade do empreendimento em 1988, a empresa conseguiu deslanchar com o apoio do BNDESPAR, patenteou seu produto em 17 países, e já o licenciou e colocou à venda na Europa; desde 1992 paga dividendos a seus acionistas.

Assim é que, coexistindo com gigantes internacionais, começa a repetir-se no Brasil o fenômeno da formação de pequenas empresas de base tecnológica, com forte interação com instituições de pesquisa. Também está em marcha o fenômeno de grupamento geográfico dessas empresas em parques tecnológicos e "incubadeiras de empresas", ligadas física e operacionalmente aos nossos melhores centros de pesquisa e desenvolvimento em biotecnologia (Bio-Rio, Bio-Minas, Unicamp, CDB/Joinville, Departamento de Biotecnologia da UFRGS, UnB/Cenargen). Entretanto, é o nível de capital de risco disponível para a fase inicial desses empreendimentos que diferencia a experiência brasileira da de outros países bem-sucedidos, o que confere ao governo brasileiro — especialmente à Finep e ao Sistema BNDES — responsabilidades especiais no modelo de desenvolvimento de uma indústria de ponta, baseada em pequenas empresas criativas.

Ainda na área empresarial, é importante destacar o papel aglutinador e promotor desempenhado pela Abrabi, Associação Brasileira de Empresas de Biotecnologia. Fundada em 1986 por um grupo de apenas oito empresas, promoveu entre essa data e 1991 três eventos congregando empresários e cientistas, a Fenabio (Minas, 1986; Rio, 1988; São Paulo, 1991), o último deles de caráter internacional (a Fenabio/Biolatina 91). A associação cresceu, atingindo 40 membros em 1991 e, ao longo desse período, representou seus associados e a biotecnologia industrial junto ao governo e ao Congresso. A Abrabi produziu importante estudo sobre patentes, defendendo a sua adoção para a área biotecnológica, e promoveu a implantação de "incubadeiras de empresas" e parques tecnológicos para abrigar as pequenas empresas criativas de base tecnológica.

As estatísticas públicas registravam, em 1986, a existência de mais de 400 empresas, públicas e privadas, na área de biotecnologia, a partir de uma definição bastante ampla usada pela Secretaria do Ministério de Ciência e Tecnologia.

Em 1989, a Abrabi (que então contava 33 associados) conseguiu levantar um universo de 234 empresas, entre EDBs e EPBs, ao passo que, em 1993, um levantamento preliminar, restrito aos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, registrou 253 empresas, com uma taxa provável de omissão da ordem de 40%. As duas amostragens são comparadas na tabela 3, em termos de mercado-alvo almejado:

Tabela 3
Distribuição por mercado-alvo das empresas levantadas
(%)

Mercado-alvo	1989	1993
Saúde (humana e animal)	33	36
Agricultura	9	21
Alimentos e bebidas	26	18
Indústrias da biomassa	20	10
Outros (bioinsumos, serviços)	12	15

Essas empresas estão, em sua quase totalidade, ligadas à fabricação e comercialização de produtos de biotecnologias clássicas e intermediárias. Estima-se que pelo menos 30% delas também atuem em pesquisa e desenvolvimento, e que algumas detenham produtos de biotecnologia intermediária e moderna em várias fases de finalização. De acordo com o levantamento de 1989, a indústria biotecnológica brasileira alocou, no quadriênio 1985-89, um total de US$88 milhões em atividades de pesquisa e desenvolvimento, em ações executadas por: instituições científicas, 39%; indústria (outras empresas e auto-investimento), 61%.

Desses números deduz-se, portanto, que atividades de pesquisa e desenvolvimento executadas pela indústria biotecnológica consumiram cerca de US$62,4 milhões no quadriênio 1985-88, ou seja, US$15,6 milhões anuais. Esse cálculo induz a estimar que, em 1988, a indústria biotecnológica moderna empregava apenas 96 cientistas líderes ativos em P&D. Este cálculo baseia-se numa razão de gastos de US$162 mil/pesquisador.ano (estimada como 60% dos custos *per capita* científicos da pesquisa empresarial biotecnológica americana).

Ações das instituições científicas

Os grupos científicos institucionais que trabalham nas áreas relacionadas com biotecnologia no Brasil são filiados a instituições universitárias e a institutos tecnológicos (ou "institutos científicos isolados", de acordo com a classificação das estatísticas americanas), em sua grande maioria vinculados aos governos federal e estaduais.

No quadriênio 1985-88 esses grupos científicos receberam recursos financeiros alocados para P&D no valor total de US$201 milhões, resultando em uma média anual de US$50 milhões. Tomando-se por base de gastos por cientista apenas 60% dos gastos por cientista nos EUA, ou seja, US$120 mil *per capita*, presume-se que, em 1988, existiam cerca de 420 cientistas líderes (doutores) engajados em pesquisas relacionadas com biotecnologia nas universidades e institutos

tecnológicos no Brasil. Essa estimativa se enquadra na mesma ordem de grandeza de levantamentos de 1992, realizados por Glacy Zancan (que estima existirem cerca de 300 orientadores envolvidos nos 80 cursos de pós-graduação relevantes existentes no país).

Dados de 1993 (levantados por Jorge Guimarães) revelam que, em 1991, os investimentos federais e estaduais em ciências biológicas (quase todas embasadoras da biotecnologia) atingiam cerca de US$95 milhões. Este aumento significativo do engajamento governamental com as biociências e as biotecnologias (comparativamente ao quadriênio 1985-88) significa que um número importante de cientistas qualificados foi agregado ao sistema institucional de pesquisa. A aplicação do mesmo cálculo usado acima resultaria em um total de quase 800 cientistas líderes envolvidos com a P&D institucional nas áreas relacionadas à biotecnologia, em 1991. Este aumento aparente é compatível com a formação de mestres e doutores levantada pela Capes para o período 1991/92 (462 doutores e 1.336 mestres). Esse cálculo parece indicar que apenas uma fração — inferior a 50% — dos doutores formados conseguiu constituir grupos autônomos de P&D nas instituições científicas que trabalhavam nas áreas de biociências e biotecnologia, no quadriênio 1989-92.

Outra avaliação independente do número de mestres e doutores qualificados nas ciências biológicas relacionadas com a biotecnologia pode ser obtida a partir do número de bolsas de carreira de pesquisador níveis I e II outorgadas pelo CNPq. Esse número, que totaliza 1.303 bolsas (das quais 747 para doutores, 480 para mestres e 76 para detentores de outros títulos), abrange aproximadamente 2/3 dos mestres e doutores qualificados envolvidos com P&D institucional em biociências ligadas à biotecnologia. A distribuição por setores é fornecida na tabela 4.

Tabela 4
Mestres e doutores envolvidos com biociências

Área	Quantidade	%
Biologia celular e molecular	296	22,7
Biologia vegetal	117	9,0
Biologia humana e animal	365	28,0
Equipamentos e insumos	13	1,0
Química fina e bioquímica	351	26,9
Meio ambiente (controle e avaliação)	129	9,9
Outros	32	2,5
Total	1.303	100,0

Mercado atual da biotecnologia e suas projeções para o ano 2000

A tabela 5 mostra dados colhidos e estimativas feitas em 1990 pela Abrabi sobre os mercados-alvo da biotecnologia no Brasil em 1990, além de projeções feitas para esses mercados para o ano 2000.

Tabela 5
Estimativa preliminar do mercado brasileiro de produtos
e processos biotecnológicos
(US$ milhões)

Mercados-alvo reais e potenciais	Produtos e processos		
	Clássicos	Modernos	Total
Saúde humana e animal			
Valor 1990	2.078,1	396,8	2.474,9
Valor 2000	2.969,6	1.200,6	4.170,2
Agricultura			
Valor 1990	145,4	16,5	161,9
Valor 2000	313,0	165,0	478,0
Ind. alimentos e nutrição			
Valor 1990	3.760,7	223,1	3.983,8
Valor 2000	6.265,9	2.915,1	9.181,0
Ind. biomassa			
Valor 1990	10.419,4	12,2	10.431,6
Valor 2000	16.152,6	1.622,1	17.774,7
Outros (insumos, serviços, biônica)			
Valor 1990	20,2	10,2	30,4
Valor 2000	34,3	65,0	99,3
Totais por classe de produto			
Valor 1990	16.423,8	658,8	17.082,6
Valor 2000	25.735,4	5.967,8	31.703,2

Fonte: Abrabi, 1991 — PCI/Biotecnologia.

A tabela 5 demonstra que a biotecnologia clássica ou convencional já está fortemente inserida na economia brasileira, equivalendo a mais de US$16 bilhões. Em que pese o crescimento do contingente empresarial de biotecnologia (principalmente de pequeno porte) no período 1990-93, é provável que os números relativos a 1992 se situem no mesmo patamar, tendo em vista que a crise econômica do início dos anos 90 desestimulou os investimentos e a atividade comercial.

O grande desafio científico, tecnológico, industrial e comercial para a biotecnologia brasileira reside, todavia, nos desenvolvimentos modernos da biotecnologia. Os produtos e processos da moderna biotecnologia apenas começam a ser utilizados no Brasil e explorados industrial e comercialmente por empresas brasileiras (particularmente a "biotecnologia intermediária"). A Abrabi estimava (ver tabela 5) um mercado nacional potencial superior a US$600 milhões/ano em 1993, com um crescimento para a faixa de US$6 bilhões/ano no final da década (ou seja, 6% das projeções de mercado internacional da biotecnologia moderna para o ano 2000). Além do mercado próprio dos novos produtos e processos, a biotecnologia moderna brasileira pretende também crescer pela sua contribuição ao processo de modernização competitiva e expansão de nosso parque industrial de biotecnologia clássica.

Recursos humanos para a biotecnologia: situação atual

Diferentemente de outros setores de ponta, notoriamente carentes de uma força de C&T competitiva no Brasil (como a informática, a química fina e os novos materiais), as ciências biológicas são uma das áreas científicas mais desenvolvidas no país. As biociências representam, aproximadamente, 35% de todos os cientistas brasileiros, com uma dezena de núcleos disseminadores, de porte e qualidade internacional. Encontra, além disso, também um setor significativo da engenharia nacional em condições de contribuir efetivamente para a biotecnologia moderna, particularmente no setor de fermentações.

Apesar dessa relativa vantagem com relação a outros setores de ponta no Brasil, as biociências e a engenharia bioquímica compartilham do problema geral de pobreza científica nacional. Conta o país com menos de 10% da massa crítica de pesquisa e desenvolvimento necessária para caracterizar o Brasil como um competidor sério, em um mercado nacional e internacional aberto.

A essa pobreza numérica, acrescentam-se:

•o estado de desmobilização e relativo sucateamento das instituições científicas em geral, com reflexos menores mas evidentes sobre os grupos de pesquisa de interesse para a biotecnologia moderna;

•o engajamento ainda mínimo do setor produtivo nas atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, seja por esforço próprio, seja pela interação com as instituições científicas.

Urge estabelecer uma política clara, construtiva e consensual que permita uma alteração imediata desse quadro precário, de modo a fortalecer a base de C&T biotecnológica e o estreitamento do contato entre instituições científicas e empresas. A recuperação dos principais grupos de pesquisa biológica e biotecnológica é, antes de mais nada, um imperativo da formação de recursos humanos na

área. O aumento da massa crítica de pessoal qualificado e de atividades de pesquisa nas instituições científicas é um determinante absoluto do crescimento da atividade de P&D para uma indústria de tecnologia de ponta.

A biotecnologia clássica responde por cerca de 5% do PIB brasileiro e emprega, na produção, comercialização e P&D, cerca de 1 milhão de trabalhadores. É, portanto, um setor industrial cujo mercado de trabalho está bem estabelecido, embora necessite de atenção em termos de aperfeiçoamento, reciclagem e formação de novos recursos humanos.

Já a biotecnologia moderna emprega muito menos mão-de-obra, e, dado o seu papel na capacitação da indústria biotecnológica brasileira, é aí que se situa o problema mais crítico de formação de mão-de-obra. As estimativas da Abrabi para a biotecnologia moderna registravam a existência, no Brasil, em 1990, de 5.500 trabalhadores no setor, dos quais 4.200 de nível superior (2.100 graduados e 2.100 doutores e mestres), 650 de nível médio e 650 de outros níveis.

Segundo os cálculos indiretos anteriormente apresentados, esses números podem ter aumentado 15% em 1992, indo para cerca de 900 doutores e 1.500 mestres. Estima-se, hoje, que pouco mais de 10% do contingente de doutores e 5% da mão-de-obra geral qualificada em biotecnologia moderna estejam empregados na indústria, e o restante, em instituições públicas. Embora essas estatísticas sejam aproximações, partiremos delas como melhor estimativa atual da força de trabalho em biotecnologia moderna na academia e na indústria.

Porquanto seja melhor que a de alguns outros setores na fronteira tecnológica brasileira, prevalece ainda um quadro de carência, tanto quantitativa quanto qualitativa, organizacional, física e financeira.

6. Um modelo quantitativo para o desenvolvimento da biotecnologia moderna no Brasil

Trata-se agora de estimar necessidades futuras da biotecnologia moderna, definindo-se como meta a ocupação, no prazo de dez anos, de pelo menos a metade de um nicho comercial presumido de US$6 bilhões, em serviços, tecnologias e produtos de biotecnologia moderna, inclusive modernização da biotecnologia clássica. Para esse exercício futurológico, serão tomadas como base as projeções do pólo Bio-Rio para o ano 2000:

• investimentos não-reembolsáveis — US$30 milhões;

• capitalização de empresas instaladas — US$108 milhões;

• faturamento anual no 10º ano — US$230 milhões;

• investimento anual em P&D no 10º ano — privado, US$35 milhões; público (não-reembolsável), US$65 milhões (inclui sustentação das equipes de C&T ligadas à biotecnologia nas instituições científicas associadas ao pólo);

• emprego total (todos os níveis) — 6 mil; instituições científicas, 1.500 (850 existentes hoje); empresas, 4.500;

• perfil da força de trabalho — nível superior, 2.400 graduados (40%); 1.200 mestres e doutores (20%); 1.200 técnicos de nível médio (20%); 1.200 profissionais de outros níveis (20%).

Admita-se, para efeito de cálculo, que cinco pólos/parques de proporções similares venham a estabelecer-se em torno dos principais centros produtores de C&T e que representem 50% da atividade de P&D e produção biotecnológica moderna do país. Caberia, portanto, multiplicar por 10 as projeções acima.

De acordo com os números acima, corrigidas diferenças de distribuição entre pólos e empresas isoladas, a força de trabalho total envolvida nos vários aspectos da biotecnologia moderna (das linhas de produção e laboratórios científicos aos escritórios dos executivos-chefes) deveria ser de 70 mil pessoas no ano 2000, distribuídas da seguinte forma: 28 mil graduados de nível superior (40%), 14 mil mestres e doutores, 14 mil técnicos de nível médio e 14 mil profissionais com outras qualificações (20% cada um).

A formação desses profissionais no curto espaço de 10 anos é certamente um ponto de estrangulamento importante das perspectivas de modernização da biotecnologia no Brasil. A adoção dessas metas numéricas exigirá um esforço interno substancial de nossas melhores instituições de ensino superior e médio. No que tange à formação de mestres e doutores e à especialização de técnicos de nível superior, será necessário acoplar esse esforço à ampla formação de recursos humanos no exterior. Para os técnicos de nível médio, serão necessárias ações coordenadas cuidadosamente planejadas, envolvendo as escolas técnicas e o Senai.

Caso a meta proposta para recursos humanos seja alcançada, a indústria de biotecnologia moderna brasileira contará com mão-de-obra capaz de arcar com um faturamento anual de US$4,4 bilhões no ano 2000, ou seja, pouco mais de 70% do nicho global estimado de US$6 bilhões da biotecnologia moderna brasileira previsto na tabela 5. Espera-se também que os ganhos de produtividade e competitividade decorrentes da modernização da biotecnologia clássica levem o setor a aumentar suas vendas em pelo menos 50%, passando a faturar cerca de US$26 bilhões anuais (ver tabela 5).

Um programa de recursos humanos para a biotecnologia moderna, com a perspectiva de satisfazer um mercado (interno e externo) de US$6 bilhões anuais, deve trabalhar com um prazo mínimo de 20 anos para que a oferta interna de mão-de-obra e sua demanda na academia e na indústria consigam entrar em equilíbrio.

A figura 1, baseada nessas estimativas, retrata a dinâmica do crescimento da oferta de mão-de-obra prevista para esse período de 20 anos — entre 1990 e 2010. A figura 2 reflete a progressiva redistribuição do emprego entre empresas e instituições científicas (que hoje detêm mais de 90% da mão-de-obra qualificada para biotecnologia moderna), onde o fenômeno que merece destaque é que, ao

final, cerca de 70% da mão-de-obra especializada estará localizada na indústria de biotecnologia moderna.

Figura 1

Biotecnologia moderna no Brasil
Recursos humanos — plano proposto

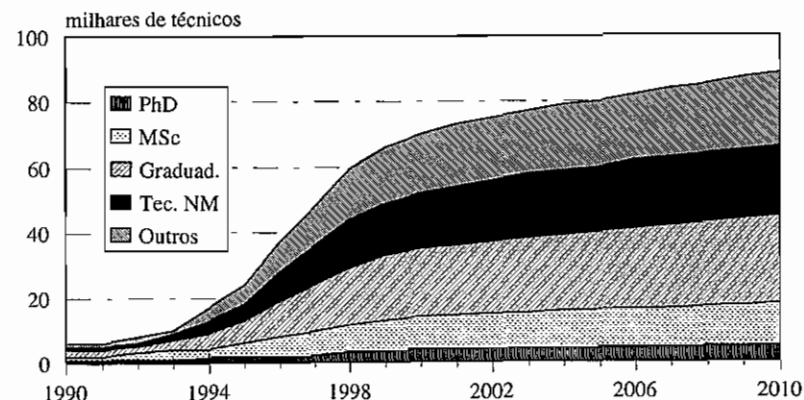
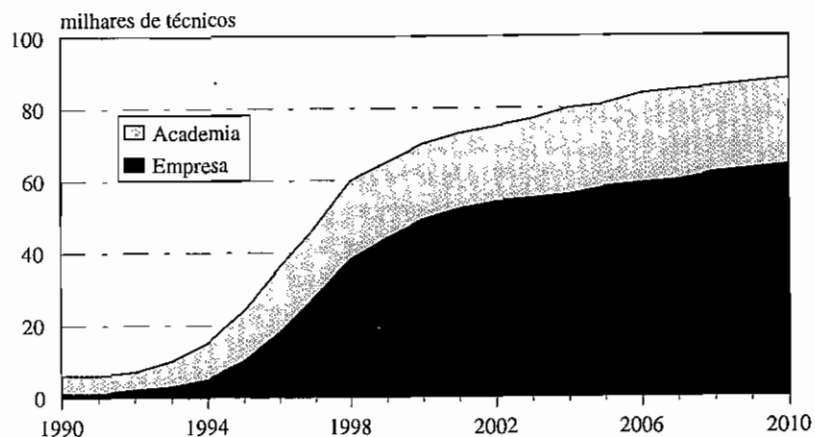



Figura 2

Biotecnologia moderna no Brasil
Emprego na academia e na indústria

As projeções das figuras 1 e 2 estão baseadas em hipóteses plausíveis de evolução do sistema nacional de pós-graduação no setor de biociências e biotecnologia e da exploração ampla de possibilidades de treinamento no exterior. O modelo, expresso numericamente pela planilha eletrônica que consta da tabela 6, detalha o mecanismo da pós-graduação no Brasil e no exterior, prevendo uma taxa de repatriação de 70% (o que só será alcançado com uma efetiva melhora das condições de trabalho e de perspectivas animadoras da biotecnologia moderna no país). A tabela 7 — continuação da tabela 6 — indica as previsões de investimento (em ciência e na indústria) necessários para atingir os resultados desejados, além da evolução do faturamento da indústria brasileira de biotecnologia moderna, do qual cerca de 15% deverão ser dedicados ao investimento empresarial de P&D.

As previsões do modelo para emprego industrial em biotecnologia moderna no ano 2000 (cerca de 50 mil em todos os níveis, para um faturamento previsto de US$4,4 bilhões) guardam razoável proporcionalidade com o quadro atual da indústria biotecnológica americana (79 mil trabalhadores de todos os níveis para vendas de US$5,9 bilhões em produtos). A maior diferença entre o modelo proposto para o Brasil/ano 2000 e a realidade americana de hoje se situa no investimento industrial em pesquisa: as empresas biotecnológicas americanas estão investindo US$4,9 bilhões em P&D, para vendas de US$5,9 bilhões, enquanto o modelo para o Brasil prevê um investimento em P&D de apenas US$1 bilhão, para um faturamento de US$4,4 bilhões. Esta diferença, que indica um hiperinvestimento em P&D das empresas americanas na fase de gestação de novos produtos, poderá ocorrer na prática no Brasil. Para prevê-lo, caberia alterar o modelo, mostrando uma relação inicial física entre investimento em pesquisa e faturamento, que depois evoluiria para um equilíbrio — correspondente a gastos com P&D da ordem de 15% do faturamento — usualmente praticado nas indústrias de base tecnológica estabilizada.

A formação de recursos humanos para biotecnologia, tanto na área industrial quanto na sua base técnico-científica, dependerá de investimentos públicos de grande porte, que só serão eficazes se realizados dentro de um perfeito entrosamento com a indústria e com o setor financeiro privado, sob pena de resultados indesejáveis como o desemprego, o subemprego e o *brain drain*. Aliás, uma das maiores virtudes do modelo proposto nas figuras 1 e 2 e nas tabelas 6 e 7 reside no acoplamento entre os setores científico e industrial em todas as fases do processo de transformação da indústria biotecnológica brasileira.

Finalmente, vale a ressalva de que o modelo proposto apenas traça as grandes linhas para atacar o problema de recursos humanos para a indústria biotecnológica, razão pela qual não se propõe a fixar o número de mestres e doutores, ou técnicos de segundo grau, necessários para os diferentes setores da bioindústria moderna. Evitou-se, aqui, incorrer em exercícios matemáticos de previsão, em favor do que é considerado fator fundamental na relação de sucesso entre ciência e indústria: a absoluta espontaneidade na busca dos caminhos de colaboração e

Tabela 6

Biotecnologia moderna no Brasil — período 1990-2000

Recursos humanos e emprego: evolução

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
RH biotecnologia moderna	5.539	6.175	7.531	10.309	15.596	24.393	36.285	48.681	58.757	65.670	70.137
Doutores	822	847	902	1.016	1.233	1.595	2.089	2.608	3.035	3.333	3.531
Mestres	1.276	1.367	1.560	1.956	2.710	3.966	5.668	7.445	8.893	9.891	10.540
Graduados	2.157	2.342	2.737	3.548	5.090	7.660	11.135	14.763	17.716	19.746	21.063
T. N. Médio	642	810	1.166	1.895	3.282	5.586	8.696	11.933	14.557	16.350	17.501
Outros	642	810	1.166	1.895	3.282	5.586	8.696	11.933	14.557	16.350	17.501
Emprego em biotec. moderna	5.539	6.175	7.531	10.309	15.596	24.393	36.285	48.681	58.757	65.670	70.137
Indústria	1.191	1.407	1.887	2.951	5.274	9.986	17.982	28.186	37.713	44.681	49.172
Doutores	96	102	115	143	206	333	552	832	1.096	1.289	1.415
Mestres	134	151	190	284	510	1.025	1.984	3.288	4.550	5.487	6.092
Graduados	442	493	608	870	1.468	2.745	5.011	7.997	10.835	12.929	14.280
T. N. Médio	132	170	259	465	946	2.001	3.913	6.464	8.903	10.705	11.865
Outros	387	491	715	1.189	2.143	3.882	6.522	9.606	12.329	14.271	15.520
Academia	4.348	4.768	5.644	7.358	10.322	14.407	18.303	20.495	21.044	20.988	20.965
Doutores	725	745	788	872	1.027	1.262	1.538	1.776	1.940	2.044	2.116
Mestres	1.143	1.216	1.369	1.672	2.199	2.942	3.684	4.156	4.343	4.404	4.448
Graduados	1.715	1.849	2.129	2.677	3.622	4.915	6.125	6.766	6.880	6.817	6.783
T. N. Médio	511	639	907	1.430	2.335	3.584	4.783	5.469	5.654	5.645	5.636
Outros	255	319	451	707	1.139	1.704	2.174	2.327	2.228	2.079	1.981

continua

continuação

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Pós-graduados em biotec. moderna											
No Brasil											
Orientadores ativos	75	126	226	404	658	893	961	837	648	499	411
Orientadores disponíveis	298	311	338	389	476	594	711	794	841	867	888
(Brasileiros)	218	224	236	262	308	379	461	533	582	613	635
(Estrang. fixados)	80	87	101	128	168	216	250	261	259	254	253
Orient. adicionais necess.	0	0	0	15	181	299	250	43			
Mestrandos	266	477	896	1.639	2.694	3.667	3.932	3.393	2.589	1.958	1.585
Doutorandos	187	278	460	786	1.253	1.694	1.835	1.628	1.299	1.038	884
Duração M	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Duração D	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Output an. total	180	308	563	1.016	1.660	2.257	2.425	2.104	1.619	1.238	1.013
Output mestres	133	238	448	819	1.347	1.834	1.966	1.697	1.294	979	792
Output doutores	47	70	115	197	313	423	459	407	325	259	221
Produção M/D	2,9	3,4	3,9	4,2	4,3	4,3	4,3	4,2	4,0	3,8	3,6
Aluno/Orientador	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
No exterior											
Bolsistas totais	296	376	537	921	2.371	3.586	3.645	2.515	2.233	2.191	2.175
Bolsistas doutorado	37	79	162	310	518	705	741	610	426	283	197
Bolsistas sanduíche	47	70	115	285	1.401	2.219	1.959	664	325	259	221
Outras bolsas. ano	213	228	260	326	452	661	945	1.241	1.482	1.649	1.757
Duração D	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Duração S	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Taxa retorno D	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Doutores retornados	6	14	28	54	91	123	130	107	75	49	34
Influxo D estrang. *net*	7	14	26	41	47	34	11	-3	-4	-2	1

Tabela 7

Biotecnologia moderna no Brasil — período 1990-2000

Custos e fontes de financiamento

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Custos da pós-graduação[1]	62,63	76,35	103,85	156,97	269,83	372,20	396,02	332,51	287,48	258,45	242,00
Bolsistas	19,75	31,61	55,24	100,90	201,22	286,64	293,61	218,15	166,43	133,54	114,20
P&D orientadores	35,73	37,29	40,51	46,72	57,18	71,30	85,34	95,30	100,87	104,09	106,50
Overhead inst.	7,15	7,46	8,10	9,34	11,44	14,26	17,07	19,06	20,17	20,82	21,30
Custos e financiamento do P&D em biotec. moderna e o faturamento da indústria											
Custos do P&D (exceto PG)[1]	144,84	154,78	176,21	221,11	309,91	466,46	693,70	947,51	1.164,76	1.317,86	1.417,15
P&D institucional	112,51	119,12	133,03	160,58	209,26	278,73	349,19	394,48	412,38	418,06	422,16
P&D industrial	32,33	35,66	43,18	60,53	100,65	187,73	344,51	553,03	752,38	899,80	994,99
Fatur. ind. biotec. moderna[2]	77,97	92,02	117,66	172,35	300,10	593,74	1.168,37	2.016,70	2.942,11	3.753,93	4.402,96
Financiamento de P&D e formação em RH[1]											
Público	195,77	217,34	262,41	352,23	534,73	749,60	914,47	977,51	1.010,92	1.013,22	998,71
Privado	11,70	13,80	17,65	25,85	45,02	89,06	175,26	302,51	441,32	563,09	660,44
Total	207,47	231,14	280,06	378,08	579,74	838,66	1.089,72	1.280,02	1.452,24	1.576,31	1.659,15
Privado/total	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,16	0,24	0,30	0,36	0,40
Privado/P&D industrial	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,66
Idem percentual	36,17	38,71	40,87	42,71	44,72	47,44	50,87	54,70	58,66	62,58	66,38
US$ Faturam./empregado	65.488	65.401	62.370	58.409	56.906	59.457	64.976	71.549	78.013	84.016	89.542
Salário médio gerado US$	13.098	13.080	12.474	11.682	11.381	11.891	12.995	14.310	15.603	16.803	17.908

[1] US$ milhões.

[2] US$ milhões, calculado pelo custo P&D/0,15 escalado em "S" crescente.

convergência. Qualquer excesso planejador poderia, inclusive, resultar em um desequilíbrio entre oferta e demanda, na medida em que se espere que cada grupo científico, cada empresa e cada investidor saiba como otimizar suas inter-relações.

Os novos recursos humanos para a indústria e a ciência biotecnológicas modernas devem, portanto, ser formados, treinados e periodicamente reciclados em um ambiente diferenciado, em que vigore uma vasta gama de atividades relacionadas à biotecnologia moderna, desde a pesquisa científica até a gestão de empresas envolvidas com P&D, produção e comercialização. A partir dessa perspectiva, a Abrabi propõe que o equacionamento da questão recursos humanos tenha como referencial importante (embora não exclusivo) os pólos ou parques científicos-tecnológicos.

7. As condições de competitividade do Brasil em biotecnologia moderna

Competitividade e acesso a tecnologias inovadoras

A biotecnologia clássica brasileira experimentou um desenvolvimento histórico progressivo e não tem problemas especiais de acesso à tecnologia. É uma indústria solidamente estabelecida, cuja estratégia se baseia na qualidade, produtividade e eficiência de comercialização, em um mercado nacional caracterizado pela competição aberta e pela ausência de proteção tarifária. Predominam, nesse mercado, capitais naconais, embora a capacidade própria de inovação tecnológica desses agentes econômicos seja limitada. O principal problema de nossas empresas de biotecnologia clássica será, a curto e médio prazos (nesta década), o incremento da qualidade e da produtividade. Ganhos sensíveis podem ser introduzidos pela melhoria da gestão tecnológica (inclusive gestão da qualidade) e empresarial como um todo. A longo prazo (próxima década), entretanto, a competitividade do setor depende de sua modernização efetiva. A consolidação dessas estratégias é atribuição de segmentos já consolidados da economia nacional (agricultura, agroindústria, papel e celulose etc.) e não será tratada neste trabalho.

A biotecnologia moderna tem uma problemática totalmente diferente. Do ponto de vista industrial, nasceu na década de 80, em decorrência da apropriação de resultados recentemente acumulados (1960-80) pela investigação científica de fronteira na biologia molecular e celular. Sua base de conhecimentos científicos, desenvolvida nos países industrializados por uma força de trabalho altamente qualificada e crescentemente numerosa, continua evoluindo em ritmo acelerado, renovando rapidamente seu estoque de conhecimentos. Novas biotecnologias modernas e seus produtos já estão afetando significativamente vários mercados-alvo nos países industrializados, deslocando tecnologias e produtos clássicos, e ameaçam invadir mercados até hoje alheios à biotecnologia. Isto torna a biotecnologia moderna um importante fator de transformação da biotecnologia clássica

e, ao mesmo tempo, um importante agente de impacto econômico renovador em vários outros setores.

Em seu atual estado evolutivo, caracteriza-se como tecnologia de ponta, o que dificulta o acesso aos conhecimentos industrialmente relevantes da biotecnologia moderna para o cientista, o tecnólogo ou a empresa brasileira. Algumas das principais tecnologias e produtos estão patenteados no exterior; embora a maioria esteja cuidadosamente retida na forma de segredo industrial. A ausência de proteção à propriedade industrial e a fraqueza do sistema de proteção ao segredo industrial são certamente fatores que contribuem de forma decisiva para que o Brasil — país de reconhecido potencial biotecnológico e detentor de uma das mais ricas variabilidades genéticas do planeta — venha sendo judiciosamente excluído da atividade empresarial internacional na fronteira biotecnológica, embora seja necessário reconhecer que a principal razão da dificuldade de acesso à moderna tecnologia reside na nossa limitada capacidade de planejamento estratégico e de coordenação de ações.

A realidade industrial brasileira em biotecnologia moderna ainda é extremamente modesta. Comparados aos seus congêneres do Primeiro Mundo ou de outros países de industrialização recente, nossos principais núcleos institucionais e empresariais com atividades de P&D ressentem-se de enormes dificuldades de acesso a insumos, equipamentos, serviços de suporte e custeio para uma ação continuada. Ainda assim, os primeiros produtos da engenharia genética e da tecnologia de hibridomas desenvolvidos no Brasil começam a atingir o mercado, graças à excelência relativa (em número e qualidade) da base de ciências biológicas preexistente no país. Contudo, o Brasil não ultrapassará a fase de sucessos esporádicos caso não invista pesadamente na modernização e desenvolvimento de sua base científica de ciências biológicas e engenharias ligadas à biotecnologia, em conjugação com o desenvolvimento de sua indústria biotecnológica de ponta.

Para a biotecnologia moderna, recomenda-se uma estratégia de competitividade baseada em um esforço concentrado de *fortalecimento da base científica nacional*, acoplado à implantação de uma *força de P&D industrial moderna* e de porte adequado a uma função central de inovação de produtos e processos. A seção 5 (subseção "Recursos humanos para a biotecnologia: situação atual") apresentou um modelo de desenvolvimento deste tipo. Essa força de P&D para a biotecnologia industrial deve, necessariamente, ser formada e rapidamente aperfeiçoada em contato íntimo com a comunidade científica nacional e internacional, em um ambiente de regras relacionais e operacionais claras e de exposição intensiva do conjunto a fatores críticos de competitividade intelectual e empresarial.

Nenhuma forma continuada de competitividade industrial pode existir em biotecnologia (clássica ou moderna) no Brasil, sem:

- mecanismos de incorporação da inovação na indústria, incluindo não só a biotecnologia moderna como também a modernização das tecnologias empregadas

pela biotecnologia clássica (as condições de satisfação desse requisito foram discutidas na seção 3, subseção "A interface ciência-indústria");

• o fortalecimento das instituições científicas encarregadas da pesquisa exploratória (básica e aplicada) e da formação de recursos humanos de alto nível, com o estabelecimento de mecanismos de cooperação com a indústria, aspecto que também foi discutido na seção 3;

• a definição de uma tecnologia industrial básica para o setor (proteção à propriedade intelectual, normalização de produtos, certificação de qualidade, licenciamento de produtos e normas de segurança pessoal e ambiental);

• o aparelhamento da gestão *empresarial* para promover o incremento de *qualidade e produtividade* nas atuais empresas de biotecnologia e para criar novas empresas que sejam dinâmicas não só do ponto de vista da inovação tecnológica como de sua eficiência gerencial e mercadológica;

• incentivos financeiros, fiscais e mercadológicos capazes de alavancar a transformação da indústria, conferindo-lhe competitividade.

A discussão a seguir reflete as posições da Abrabi sobre esses temas.

Tecnologia industrial básica para a biotecnologia

Proteção à propriedade industrial

Não há, no Código de Propriedade industrial de 1970 ainda em vigor, uma proibição explícita em relação ao patenteamento em biotecnologia. A proibição incide nela indiretamente, em virtude das restrições nas áreas de saúde humana, alimentos e química (nesta última, apenas os processos de obtenção são passíveis de proteção). Existem hoje no Inpi numerosos pedidos de patentes em biotecnologia (146, em 1990), aguardando pronunciamento. Menos de 10% desses pedidos provêm de empresas brasileiras, e pouquíssimos decorreram de invenções realizadas no Brasil, o que reflete uma baixa atividade criativa em biotecnologia, deixando claro que empresas e inventores brasileiros não se entusiasmaram em dar entrada em pedidos de patente em números sequer proporcionais ao nosso atual esforço em P&D.

A Abrabi sempre foi favorável à tese geral de que a propriedade intelectual em biotecnologia deve ser protegida e, desde 1986, vem discutindo como fazê-lo de forma eficaz e que atenda aos interesses primários da sociedade brasileira, dos inventores e do setor produtivo. Em 1988, a assembléia geral da Abrabi adotou, como posição de discussão, uma proposta que previa a progressividade temporal

na adoção de proteção à propriedade intelectual, condicionada ao domínio também progressivo de conhecimentos e tecnologias biológicas pela ciência e pela indústria no Brasil. Na prática, a idéia de progressividade tem sido difícil de ser implementada, dadas a multiplicidade de frentes de avanço da biotecnologia e a necessidade de adotar-se um quadro legal claro, dentro do qual se pudesse plasmar desenvolvimento tecnológico e uma estratégia de competitividade comercial. Nasceu daí, em 1990, uma segunda posição da Abrabi, propondo a adoção de patentes biotecnológicas sem qualquer condicionante temporal, e formalmente adotada pela assembléia geral de julho de 1991 e apresentada ao Congresso Nacional em agosto de 1991 (Abrabi, 1991a).

Produtos primários. Cientistas e empresas ativas em P&D na biotecnologia moderna têm grande interesse no *patenteamento de produtos primários representados por partes subcelulares ativas de organismos vivos* (inclusive genes, vetores de expressão e assemelhados). Primeiro, a disponibilidade de proteção proveria amplo acesso ao mercado internacional desses produtos, que constituem insumos fundamentais para as atividades de pesquisa. Segundo, a proteção estimularia o investimento em P&D no Brasil e, conseqüentemente, premiaria o inventor nacional. Não há malefícios à vista para a proteção desse tipo de construção biológica pelo engenho humano ou de seus processos de obtenção.

Não há tampouco objeções técnicas ou de conveniência mercadológica para a proteção por patente de microorganismos "engenheirados" ou de seus processos de obtenção. Todavia, tais microorganismos são partículas complexas não-passíveis de plena descrição. Portanto, nesses casos, o requisito de *full disclosure* só pode ser cumprido mediante depósito da cepa em um banco de microorganismos. Existem sistemas internacionais de depósito (Tratado de Budapeste) aos quais o Brasil pode aderir. Por motivos de segurança e conveniência, é aconselhável, contudo, que todo microorganismo patenteado no Brasil seja também aqui depositado. Embora caro, um sistema nacional de depósitos de microorganismos e células de organismos superiores (animais e plantas) deve ser implementado de forma descentralizada, através de núcleos especializados em determinado tipo de microorganismo ou célula. Além de centros de depósitos para fins de patente, esses "bancos" cumprem a importante função de distribuir essas células aos grupos científicos que as requisitam. Já existem no Brasil algumas entidades desse tipo, todas sem finalidades lucrativas.

A questão entra na esfera do debate internacional quando se considera o patenteamento de produtos biotecnológicos primários na forma de plantas e animais transgênicos. Na maioria dos países industrializados, já é (ou começa a ser) admitida a propriedade intelectual sobre animais claramente "engenheirados" pelo homem. No terreno vegetal, a disseminação da patente como mecanismo de proteção é mais extensa, embora coexista com outra forma de proteção: a "proteção de obtenções vegetais" ou "direitos de melhorista". Estes últimos, regidos pela convenção internacional da Upov, constituem uma forma mais mitigada de

poder do proprietário. O detentor do benefício pode registrar uma nova variedade vegetal por ele desenvolvida (por genética clássica ou moderna) e ganha com isso o direito de prover o mercado de semente básica (utilizada pelas companhias sementeiras para multiplicação e produção de semente comercial). Com isso, faz jus a um *royalty*, mas não tem poderes para direcionar a comercialização do seu produto intelectual, contrariamente ao sistema de patente, no qual é total o poder de discriminação comercial do proprietário do direito. Em ambos os sistemas, patente ou direitos de melhoristas, a utilização do produto ou do processo protegido é livre, desde que com a finalidade de pesquisa. Os dois sistemas exigem depósito de material vegetal capaz de reconstituir a planta protegida (semente ou cultura organogênica).

Infelizmente, o sistema Upov, por suas características próprias, não atende aos inventores que lidam com a biotecnologia moderna, particularmente a engenharia genética. Para estes, é necessário o patenteamento de células e indivíduos transformados, mesmo que a proteção "na forma geneticamente fixa de uma espécie, raça ou variedade" venha a ser separada ou cumulativamente outorgada pela Upov (cuja atual convenção prevê e autoriza a dupla proteção).

Produtos secundários. Uma parte importante dos produtos biotecnológicos secundários é representada por produtos químicos, muitos dos quais de aplicação em saúde e alimentação. A Abrabi entende ser, em princípio, desejável estender o patenteamento a qualquer processo ou produto secundário, químico ou não, independentemente de sua destinação de uso, dentro de critérios a serem definidos. Todavia, entende também não ser viável uma resolução unilateral da questão. O assunto deve ser discutido e resolvido juntamente com os demais setores interessados em produtos químicos (principalmente química fina, indústria farmacêutica e indústria de alimentos).

Mecanismos gerais da Convenção de Paris. A Abrabi apóia inteiramente a posição do Brasil no que tange à plena adesão aos mecanismos previstos na Convenção de Paris, cuja observância é resguardada através da World Intelectual Property Organization (Wipo). Vale dizer que a Abrabi entende que autodeterminação nacional na definição de mecanismos e prazos de proteção, de caducidade e de licença compulsória são uma contrapartida de segurança social que equilibra e legitima, de forma efetiva, a outorga do privilégio de exploração concedido ao inventor.

A Abrabi entende, ainda, que existem pontos críticos nas atuais propostas de alteração legislativa, que o governo e o Congresso saberão ponderar, após as sondagens de opinião necessárias.

Segredo industrial. Muitas das informações fundamentais da ciência e da tecnologia biológica tramitam, em função de seu dinamismo, pela rota do segredo industrial, e jamais chegam a ser patenteadas ou protegidas de outra forma. O respeito ao segredo industrial e ao privilégio de comunicação científica privada é absolutamente essencial ao estabelecimento de um intercâmbio intenso e saudável entre agentes de P&D nas instituições científicas e nas empresas, dentro e fora do país. A existência de um ambiente de respeito ao segredo industrial e à comunicação científica privada é também condição *sine qua non* para o estabelecimento de uma ambiência sadia nos pólos e parques científico-industriais de biotecnologia.

A Abrabi insiste num posicionamento ético claro na proteção ao segredo industrial e se coloca frontalmente contrária a qualquer tipo de trânsito não-autorizado de conhecimentos entre atores de P&D, seja no âmbito interno, seja no internacional. Entende também que princípios éticos, por melhores que sejam, somente podem ser operacionalizados na prática comercial se forem instrumentados por dispositivos legais claros, que obriguem pessoas físicas e jurídicas e imponham um sistema de sanções severas, aplicáveis no país e no exterior, aos eventuais infratores.

A Abrabi propõe que essa questão seja enfocada em um momento posterior, com base em estudo jurídico que envolva representação do governo, das empresas e da comunidade científica, na medida em que a questão claramente extrapola o âmbito da biotecnologia.

Certificação de qualidade e licenciamento de produtos

A Abrabi adere integralmente aos preceitos da política industrial e de comércio exterior no que tange ao Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade. No âmbito da biotecnologia e suas aplicações nos setores de saúde, alimentos e agricultura, normas e padrões compatíveis com as exigências internacionais estão agora sendo estudados pela associação.

Na questão de licenciamento para a comercialização de produtos, particularmente no setor de saúde, a Abrabi entende ser essencial a formação de um grupo de trabalho que reúna a indústria, o governo e uma sólida assessoria técnico-científica, com o objetivo de repensar um sistema simplificado mas exigente em termos qualitativos, que trabalhe com regras claras e seja capaz de acelerar a tramitação de licenças, dentro do princípio de que a consideração fundamental é a segurança e o benefício do cidadão.

Normas de segurança individual e ambiental

Trata-se de um ponto fundamental para a biotecnologia moderna e já existe uma proposta legislativa relativa à bioética e à biossegurança em tramitação no Congresso. Infelizmente, o projeto contém princípios que, se aceitos, tornariam impossíveis as atividades de P&D biotecnológico moderno pela iniciativa privada no Brasil. A Abrabi vem mantendo contatos com os parlamentares e o relator a esse respeito. Até que legislação específica seja aprovada, a Abrabi reco-

menda trabalhar dentro das regras internacionalmente aceitas para segurança individual, coletiva e ambiental (NIH Rules, EPA Rules e OECD Rules).

Condições estruturais para o financiamento da biotecnologia moderna no Brasil

Considerações financeiras constituirão um obstáculo importante na fase de transição da indústria brasileira para a capacitação tecnológica e a competitividade em mercados abertos.

Em biotecnologia moderna, será inviável para uma empresa assumir uma posição competitiva sem dispor de seu próprio núcleo qualificado de P&D, contando com pesquisadores capazes de interagir eficazmente com seus pares nas instituições científicas e tecnológicas. Os custos da implantação física e custeio operacional de um bom núcleo de P&D tornam o investimento pouco atrativo em uma conjuntura de transição, face ao tempo de amadurecimento necessário para retornos de porte significativo (o tempo médio de amadurecimento intelectual e otimização do trabalho de um núcleo de P&D é da ordem de 10 anos).

A experiência dos países industrializados mostra que a capacitação tecnológica de um setor industrial exige um considerável investimento público, cujo retorno à sociedade se fará a médio e longo prazos. Em 1960, a indústria americana recebia recursos federais diretos (fora incentivos fiscais) equivalentes a 63% de todo o seu investimento e custeio de P&D. Este percentual hoje é menor, mas em 1990 a mesma fonte — a National Science Foundation — registrava uma alocação de recursos públicos (sob a forma, principalmente, de contratos competitivos em programas especiais) correspondente a 33% das despesas/investimentos totais da P&D empresarial. Ao mesmo tempo, as despesas com P&D feitas com recursos próprios nos EUA podiam, até recentemente, ser lançadas em dobro para efeitos fiscais. Dificilmente a capacitação tecnológica da indústria brasileira em geral se fará com incentivos menores. Embora a indústria biotecnológica americana tenha-se desenvolvido fundamentalmente na base do capital privado, vale lembrar que cerca de um terço dos dispêndios de P&D da indústria biotecnológica é custeado com recursos governamentais, através de *grants* ou contratos de pesquisa, acompanhando, portanto, a tendência geral da indústria nos EUA.

Os incentivos financeiros diretos (capitalização, financiamento e incentivos fiscais) e indiretos (recursos humanos, implantação de facilidades centrais compartilhadas e fortalecimento da infra-estrutura técnico-científica institucional), propostos pela Política Industrial e de Comércio Exterior (Pice), infelizmente jamais chegaram a desenvolvimento pleno. De fato, o respaldo financeiro da Pice (FNDCT, PADCT, RHAE etc.) ficou sacrificado pela crise econômica nacional, e a parte fiscal, dependente de legislação específica, arrasta-se morosamente pelos desvãos do desentendimento político entre o Executivo e o Legislativo. Existem à disposição apenas os mecanismos clássicos de financiamento com retorno (Adten/Finep e BNDES). Outros mecanismos de investimento, como capitalização pelo Estado e financiamentos com risco compartilhado, estão formalmente fechados às micro e pequenas empresas.

Incentivos fiscais.

Incentivo I. Operações de financiamento, contratadas entre as agências financeiras do Estado e as micro e pequenas empresas tecnologicamente dinâmicas devem ser dispensadas da apresentação de garantias reais ou fiduciárias pelo tomador, considerando-se esta renúncia por parte das agências como parte integrante do risco público no incentivo ao Programa de Competitividade Industrial. Alternativamente, a rotina bancária da avalização pode, nesses casos, ser satisfeita com o aval de uma segunda agência de fomento, que, sem despender recursos, ainda assim participa do risco.

Incentivo II. Refere-se à criação de um sistema de chamadas competitivas, mediante editais públicos amplamente divulgados, para a contratação (ou financiamento não-reembolsável) de projetos de P&D no âmbito dos programas estratégicos de biotecnologia. Os editais devem ser abertos exclusivamente a consórcios científico-tecnológicos que envolvam, obrigatoriamente, instituições científicas e empresas brasileiras de pequeno e médio portes, admitida a subcontratação parcial, no Brasil ou no exterior, de instituições científicas e/ou empresas de qualquer porte.

Incentivo III. Em adição às vantagens fiscais da Medida Provisória nº 280/90 e outras introduzidas pela Portaria nº 538/90, sugere-se a seguinte ampliação: "para fins de demonstração fiscal, todas os gastos contabilizados pela empresa e classificáveis como despesas operacionais ou pagamentos a terceiros relativos a projeto de P&D aprovado no âmbito dos programas estratégicos de biotecnologia serão contabilizados multiplicados pelo fator 2 (dois)".

Incentivo IV. Não serão computáveis como receitas, para fins de imposto de renda, os *royalties* e outros direitos recebidos de qualquer origem, por pessoas físicas ou jurídicas, em decorrência de licenciamento de propriedade intelectual, patenteada ou protegida por outro mecanismo legal, no Brasil e/ou no exterior, condicionado ao atendimento de todas as condições seguintes: a) o beneficiário ser autor, co-autor, financiador ou co-financiador do invento gerador da patente ou proteção; e b) a patente ou proteção ter como principais proprietários (mínimo de 51%), isolados ou consorciados, pessoas jurídicas brasileiras ou pessoas físicas que efetiva e legalmente residam no Brasil e aqui exerçam a sua principal atividade. Propõe-se, como conseqüência natural, que a tributação retida no estrangeiro seja contrabalançada, no Brasil, com a disponibilização de recursos equivalentes, condicionada à sua aplicação em atividades de pesquisa e desenvolvimento comprováveis.

O *incentivo I* vem corrigir uma discriminação odiosa e inteiramente desnecessária das grandes agências federais e seus agentes repassadores nos estados. Se um projeto é bom e consegue atravessar o crivo crítico dessas instituições, não deve deixar de ser apoiado apenas porque o eventual tomador não consegue apresentar garantias reais; nem deve um pequeno empreendimento ter seu financiamento onerado com os custos de garantias fiduciárias vendidas por terceiros agentes.

O *incentivo II* é de importância crítica para uma rápida capacitação tecnológica de empresas engajadas nos programas estratégicos. Em primeiro lugar, permite-lhes, independentemente de tamanho e disponibilidade financeira, implantar e operar núcleos competentes de P&D, empregando a mão-de-obra qualificada que começará a ser gerada pelos centros de ensino e pesquisa e pelas escolas técnicas. Segundo, estimula as empresas de tecnologia de ponta a trabalharem em sistema consorciado com instituições científicas e outras empresas. Terceiro, encoraja todo esse conjunto a buscar complementaridades dentro e fora do país, tendo em vista exclusivamente a eficiência, a qualidade e a adequação dos vários atores do projeto, em ambiente de saudável competição.

O *incentivo III*, na forma de vantagem fiscal adicional à prevista nos novos instrumentos legais, é um estímulo adicional não só à participação em projetos de P&D dos programas estratégicos, como também à maximização de sua contrapartida nesses projetos. Uma empresa que se apresente apenas como contratada em determinado projeto, sem entrar com contrapartida, não se beneficiará. No outro extremo, uma empresa que entre no projeto sem nada receber (isto é, investindo 100% de sua participação), contabilizará em dobro para fins fiscais todas as suas despesas no projeto. Essas empresas poderão mesmo ser incentivadas a cobrir integralmente os custos de um projeto, ou parcela desses custos superior à sua participação física ou intelectual no projeto (portanto, aumentando proporcionalmente sua participação no prêmio da propriedade industrial).

O *incentivo IV* é um prêmio à criatividade e ao investimento em criatividade, onde quer que ele ocorra. É, portanto, de aplicação mais geral que a própria biotecnologia. Contudo, é recomendável em um momento histórico em que se procure induzir uma mudança radical de atitude nos indivíduos e nas empresas, e tem a vantagem adicional de premiar não o esforço, e sim o sucesso.

Do ponto de vista de renúncia fiscal, os *incentivos II* e *III* têm a virtude de ser de aplicação restrita e controlável, no plano contábil, pelas agências públicas, que serão responsáveis pelo sistema de chamadas competitivas e pelo controle dos programas estratégicos. O *incentivo IV*, igualmente restrito em sua aplicação, será controlado através do registro legal da propriedade intelectual e da averbação de contratos de licenciamento ou similares nos órgãos competentes. Desse modo, nenhum desses mecanismos gerará um ônus excessivamente alto para o Orçamento Fiscal, ou abusos de difícil coerção.

Incentivos mercadológicos e competitividade

A biotecnologia clássica tem-se desempenhado satisfatoriamente nos seus segmentos maduros, que enfrentam competição aberta nos mercados internacionais. Já nos segmentos em processo de modernização, a biotecnologia clássica mostra-se ainda frágil para a competição aberta e necessita da atenção e do apoio da biotecnologia moderna.

Em biotecnologia moderna, o acesso eficiente ao mercado é um dos componentes mais críticos do risco. É, sem dúvida, o principal ponto de estrangulamento das micro e pequenas empresas tecnológicas, e um fator de peso nas decisões de investimento de qualquer grande empresa de biotecnologia. Tendo em vista o estado incipiente da indústria biotecnológica moderna no país, é necessário estabelecer mecanismos de apoio especiais para a área. Nessa linha, a Abrabi propõe, como mecanismos importantes e plenamente aplicáveis, tanto à biotecnologia moderna quanto aos setores de biotecnologia clássica ora em fase de modernização, os incentivos adicionais a seguir.

Incentivo V. Os pólos ou parques de biotecnologia poderão organizar redes integradas de comercialização, com a participação de empresas produtoras e compradoras associadas, residentes ou não. Será necesária uma legislação especial para determinar a natureza jurídica das redes e para alocar benefícios fiscais específicos para as transações efetuadas no seu âmbito, ou entre as redes e clientes não-associados.

Incentivo VI. O poder público deverá regulamentar em lei a aplicação do art. 171, § 2º da Constituição, que determina a preferência por empresas brasileiras de capital nacional. Ao lado de exigências gerais feitas a fornecedores do Estado (adesão a sistemas credenciados de certificação de qualidade, observância de padrões legais de cuidados ambientais e licenciamento ético de produtos destinados a uso/consumo humano), a Abrabi pleiteia apenas que: a) as licitações para compras, mesmo emergenciais ou pequenas, sejam automaticamente comunicadas às associações de classe empresariais pertinentes e às redes integradas de comercialização dos pólos/parques científico-tecnológicos devidamente credenciadas junto ao poder público; e b) os grandes compradores estatais (aí incluídas empresas públicas e de economia mista) publiquem e igualmente informem aos pólos/parques científico-tecnológicos e associações de classe as suas programações anuais e plurianuais (se cabível) de compras de produtos, serviços e tecnologias, aí incluídos produtos biotecnológicos primários e secundários.

Incentivo VII. Linhas de financiamento, com cláusula de risco, devem ser oferecidas pelas agências designadas na Portaria nº 538/90, para apoiar a comercialização pioneira, no Brasil e no exterior, de serviços e produtos resultantes de: a) atividade de P&D englobada em programas estratégicos; ou b) processos e produtos passíveis de proteção legal (patente e outros), resultantes de atividade de

P&D realizada por empresas brasileiras de capital nacional e pessoas físicas que residam e trabalhem legalmente no Brasil, sozinhas ou consorciadas, permitindo-se o envolvimento minoritário de pessoa física ou jurídica de qualquer nacionalidade. Em qualquer caso, será exigida a observância de controle de qualidade, cuidado ambiental e licenciamento (quando necessário).

Incentivo VIII. Linhas de financiamento, com cláusula de risco, devem ser oferecidas pelas agências designadas na Portaria nº 538/90, para apoiar pessoas físicas e micro, pequenas e médias empresas brasileiras de capital nacional: a) no registro de patentes e assemelhados, no Brasil e no exterior, e na eventual necessidade de defesa contra a infração comercial ou a contestação legal da propriedade intelectual; b) na busca, participação em concorrências e negociações para o fornecimento de serviços, tecnologias e produtos decorrentes da propriedade intelectual obtida na forma da alínea *a* acima.

Incentivo IX. Tarifas aduaneiras diferenciadas e de natureza temporária devem ser criadas para proteger os cinco primeiros anos de comercialização de serviços e produtos resultantes de trabalhos de P&D efetivamente realizados no Brasil e cuja propriedade intelectual seja legalmente detida por uma pessoa jurídica brasileira, de capital nacional ou não, ou por pessoa física que resida e trabalhe legalmente no Brasil. Para fins estatísticos e de controle comercial, a Abrabi e o poder público devem colaborar na preparação de uma classificação de produtos biotecnológicos primários e secundários que, uma vez aprovada pelas autoridades competentes, passará a ser utilizada como padrão para a classificação aduaneira.

Capital de risco

Foi ressaltada, na quarta seção, a enorme importância do capital de risco (privado e público) para o desenvolvimento de indústrias de ponta, como a biotecnologia. Esse tipo de capitalização funciona quando existem perspectivas de ganhos extraordinários coordenados por investidores sagazes, capazes de assumir riscos altos mas bem-calculados. Esses investidores oferecem-se como depositários fiéis de *private placements* (investimentos privados entregues em confiança, com o alerta sobre o alto risco da operação), aos quais acenam com a possibilidade de lucros concretos muito acima dos usuais, seja no mercado financeiro, seja nas bolsas de valores. Os fundos de capital de risco assim organizados, que correspondem a massas financeiras entre US$20 milhões e US$50 milhões, são judiciosamente aplicados numa carteira diversificada de empreendimentos de base tecnológica com características inovadoras radicais. O capital de risco financia fases finais do desenvolvimento de uma idéia, cooptando seu autor e apropriando as oportunidades de desenvolvimento posterior. Formada a empresa, o fundo geralmente dilui seu risco atraindo outros investidores, especialmente outras

empresas potencialmente interessadas no desenvolvimento daquele produto como tecnologia produtiva ou insumo de produção inovadora.

Completado sob proteção (patente e segredo industrial) o ciclo de aperfeiçoamento tecnológico e feitos os testes oficiais certificadores da eficácia e da ausência de efeitos colaterais ou ambientais indesejáveis, o fundo de investimento de risco prepara a pequena empresa *to go public*, abrindo seu capital diretamente em uma bolsa de valores mobiliários ou e em um "mercado de balcão". Nesse momento, com base no valor comercial das tecnologias e produtos gerados, é determinado o valor das ações e a percentagem do seu total em oferta pública, e o fundo de capital de risco usualmente vende sua parte e capitaliza um lucro importante, que é repassado aos investidores originais dentro de regras previamente acertadas. O resultado final é que a nova empresa pública, fortemente capitalizada pelos subscritores das novas ações, tem agora o capital necessário para prosseguir sua aventura sob a orientação dos novos donos (entre os quais os fundadores quase sempre detêm posições significativas).

Com o objetivo de incorporar a indústria de capital de risco à realidade do mercado de capitais no Brasil, a Abrabi, juntamente com várias outras associações de empresas de base tecnológica no setor de microeletrônica e informática e com apoio da SBPC, apresentou uma emenda ao projeto de lei de incentivos fiscais para o investimento empresarial em ciência e tecnologia, que ora tramita no Senado Federal. Infelizmente, nem a lei foi votada, nem há qualquer certeza da acolhida dos dispositivos sugeridos pela Abrabi.

8. Conclusão

Avaliação da competitividade brasileira em biotecnologia moderna

Para finalizar, a análise centra-se, a seguir, sobre a *competitividade brasileira em biotecnologia moderna*, como *base científica* e como *indústria de biotecnologia moderna*.

Essa questão é ainda mais pertinente quando se sabe que o Brasil está tentando emergir de uma crise econômico-financeira sem precedentes, que atingiu em cheio o financiamento público à ciência e tecnologia. O governo precisa, portanto, concentrar esforços e estar seguro de suas escolhas. A iniciativa privada, também atingida pela crise, precisa, por seu lado, ter certeza de contar com condições adequadas (tecnológicas, econômicas, financeiras e de "regras do jogo") para poder entrar em uma atividade sadia e lucrativa, porque aberta e competitiva.

Nestes termos, é preciso que se diga que dificilmente haverá uma nova fronteira tecnológica que traga mais benefícios para um país como o Brasil do que a biotecnologia moderna. Ela cria um impacto positivo sobre o setor de saúde, um dos pontos críticos de capacitação para o trabalho em toda a economia brasileira, e sobre a agricultura e a agroindústria. Abre, ainda, as portas para utilizações ino-

vadoras da biomassa. Contribui, também, para o manejo ambiental, questão fundamental para resguardar padrões ecológicos seguros para os projetos de industrialização e para a ocupação das cidades e do campo, além de criar possibilidades de grande inovação em áreas ainda pouco desenvolvidas no mundo todo, como a biônica.

Entretanto, o problema não é definir se a biotecnologia moderna é ou não importante para o Brasil, pois não há dúvidas a esse respeito. Os benefícios enumerados (ou grande parte deles) poderão emergir de desenvolvimentos tecnológicos provenientes do Primeiro Mundo, ou até de produtos importados em um mercado internacional aberto e justo. O Brasil é um mercado cada vez mais interessante, que corresponde a cerca de 35% da América Latina como um todo, além de dotado de uma infra-estrutura industrial e comercial razoavelmente sólida. *O problema está em definir se o Brasil poderá ser importante para a biotecnologia moderna*, ou ao menos, se conseguirá, em tempo hábil, ser *autoconfiante em biotecnologia moderna*.

A base científica da biotecnologia moderna brasileira é pequena, mas significativa, e pode servir de base para importantes desenvolvimentos futuros. De fato, como em outros países de origem colonial, as ciências da vida foram as primeiras a se desenvolver, como forma de amparo à economia agrícola e à capacitação geral da mão-de-obra. Hoje, as ciências biológicas e seus ramos biomédico e agropecuário representam mais de 50% da atividade científica de nossas universidades e institutos tecnológicos. São elas, de fato, a base da excelência qualitativa e quantitativa da produção científica brasileira, que ocupa ainda a primeira posição na América Latina e, no âmbito dos países em industrialização, só é superada pela da Índia.

Nos campos mais diretamente ligados à biotecnologia moderna (biologia celular, biologia molecular e outras disciplinas mais gerais que constituem o seu *background*), o Brasil começa a despontar com força, como um dos países em desenvolvimento que mais investiu na montagem de uma infra-estrutura significativa de biociências, com ênfase nos setores proativos em relação à biotecnologia. Existem, atualmente, pelo menos três estruturas de pós-graduação (*lato sensu* e/ou *stricto sensu*), que começam a formar pessoal com apreciável grau de qualificação em biotecnologia moderna, além de importantes laços pessoais e institucionais entre nossos melhores centros e o exterior, derivados, em grande parte, da difusão de estudos no exterior.

Apesar disso, o que existe ainda é muito pouco para um país das dimensões geográficas, demográficas e econômicas do Brasil, como, de resto, fica claro no modelo quantitativo apresentado na seção 6, juntamente com as tabelas 6 e 7 e as figuras 1 e 2. Até o ano 2000, para uma proposta de atender a cerca de 70% do mercado interno de biotecnologia moderna, será necessário ampliar nossa capacitação científica na área de aproximadamente 2.460 para 14.070 mestres e doutores, para atingir um pico de 4.760 mestrandos e doutorandos em formação no

Brasil, número que depois tenderá a diminuir, além de atingir outros 3.645 bolsistas de vários tipos no exterior, número que poderá também diminuir a partir daí.

Os custos da pós-graduação (Brasil e exterior) e da pesquisa intrinsecamente associada nas biociências embasadoras da biotecnologia custa já algo da ordem de US$100 milhões por ano. Custará em 1996 quase US$400 milhões, caindo no ano 2000 para US$242 milhões. Esse investimento financeiro e acadêmico, que fatalmente se fará em detrimento de outras áreas, só se justifica se o Brasil puder, pelo menos, tornar-se autoconfiante em matéria de biotecnologia moderna, entendendo-se por autoconfiante o suprimento de um segmento apreciável da demanda de nosso mercado interno por bens e serviços produzidos no país, com contribuição crescente da base científica brasileira em termos de inovação tecnológica e formação de pessoal qualificado. *Só valerá a pena se envolver em um investimento dessa ordem caso haja uma perfeita sintonia de esforços entre a academia, o governo e o empresariado.* Se isso ocorrer, não haverá obstáculos, no plano científico e tecnológico, para que o Brasil "chegue lá".

A base industrial da biotecnologia moderna brasileira apresenta duas vertentes radicalmente diferentes

A primeira vertente industrial é representada pelas EBPs (empresas de bioprodução), que utilizam seres vivos em bioprocessos produtores de insumos e produtos. A tabela 6 demonstra que as empresas de biotecnologia clássica são extremamente fortes no Brasil, representando acesso a um mercado da ordem de US$17 bilhões anuais. A modernização das EBPs brasileiras (ou de uma parte delas, para ser realista) representa o principal potencial de crescimento imediato da indústria biotecnológica moderna no país e o principal fator econômico a ser considerado para o ano 2000. Para essas empresas, que vão do pequeno ao grande porte, a produção, a comercialização e o lucro são fatores primordiais, com o que não hesitarão em comprar biotecnologia moderna estrangeira, ou estabelecer *joint ventures* com detentores estrangeiros dessas tecnologias, se e quando isso for possível em um mercado internacional aberto e com regras crescentemente rígidas de defesa da propriedade industrial. Assim, para que seja criada uma porta de entrada para a base científica da biotecnologia moderna brasileira poder interagir e crescer, será necessário desde logo criar estruturas de interface e de associação de interesses que torne a "via interna" mais atraente e mais econômica do que a "via externa" (ver abaixo). Provavelmente, o que deverá ocorrer até o ano 2000 é uma combinação das duas vias, com ênfase crescente (mas nunca exclusiva) para a "via interna", à medida que um maior contingente de mão-de-obra qualificada se tornar disponível.

A segunda vertente é representada pelas EDBs (empresas dedicadas à biotecnologia), que se ocupam do desenvolvimento de bioprodutos e bioprocessos inovadores, particularmente novos seres vivos capazes de desempenhar melhor funções produtivas conhecidas, ou abrir novos mercados. As EDBs são as grandes traduto-

ras entre as bancadas científicas e a realidade industrial. *A melhor opção para o Brasil é desenvolver as suas EDBs em íntimo contato com o desenvolvimento da base científica da biotecnologia em parques tecnológicos formados em torno de nossos principais centros geradores de bioconhecimento e de formação de pessoal.* Existem hoje no Brasil nada menos de seis centros científicos institucionais (ou interinstitucionais) que trabalham com programas de "incubadeiras de empresas" voltadas para a biotecnologia, alguns deles com espaço para a formação de parques tecnológicos ao seu redor. Estes centros devem ser o alvo lógico da concentração de esforços em torno das EDBs de biotecnologia moderna, de sua base científica e da formação de pessoal especializado em todos os níveis (inclusive escolas técnicas com programas em biotecnologia).

Conclui-se que, embora as EDBs de biotecnologia moderna estejam começando a se formar no Brasil, sua dinâmica comporta uma ampliação rápida, já que está associada a uma base científica significativa e sua tendência seria evoluir de forma acelerada, em conjugação com as EBPs. Com o crescimento dessas e com o surgimento, no mercado, dos serviços, insumos e produtos finos que lastreiam a bioprodução, estarão completas as condições para uma interação crescente e profícua com as EBPs e com o mercado final.

Todo esse processo, contudo, tem custos para a indústria e para o governo. Excluindo os custos da pós-graduação já citados, o modelo quantitativo apresentado na seção 6 prevê gastos de pesquisa e desenvolvimento pela indústria biotecnológica da ordem de US$43 milhões, para os quais o governo deveria, sob várias formas (inclusive a fundo perdido) aportar pelo menos 70% (além dos gastos a fundo perdido com pesquisas biotecnológicas associadas às instituições científicas, no valor de US$133 milhões em 1992). Sem este apoio governamental, não será possível ir longe, já que a indústria biotecnológica moderna estaria ainda em fase de desenvolvimento de seus negócios, que só começariam a amadurecer nos próximos anos. Prevê-se, com isso, que, no ano 2000, o governo estaria ainda arcando com cerca de 60% desses custos.

Assim, entre formação de recursos humanos e despesas com pesquisa e desenvolvimento, a equação financeira seria a seguinte:

• 1992 — governo, US$262,41 milhões; empresa, US$17,65 milhões; total, US$280,06 milhões;

• 2000 — governo, US$998,71 milhões; empresa, US$660,44 milhões; total, US$1.659,15 milhões.

É essencial que empresa, governo e academia acertem suas metas, orçamentos e comprometimentos desde agora, para que o sistema cresça com um máximo de economia e eficiência.

É possível responder agora à pergunta inicial: *a biotecnologia moderna é importante para o Brasil. O país tem condições básicas para se desenvolver científica e industrialmente nesse setor, desde que se assegure que as condições macroeconômicas do processo não interfiram de forma a torná-lo inexeqüível.*

Recomendações

• As associações de classe empresarial que reúnem EDBs e EBPs devem, de imediato, em colaboração com o governo e a academia, examinar o modelo quantitativo e as premissas contidas neste trabalho, de forma a concertarem um único plano nacional que defina a participação de cada parte no esforço e nas despesas de um projeto nacional para a biotecnologia moderna.

• O governo, especialmente o Executivo e o Legislativo, deve adotar linhas gerais de ação que provejam os recursos necessários à implementação do lado financeiro público do plano.

• O Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CCT), atualmente em reformulação, deve aprovar o plano e criar os mecanismos necessários para seu efetivo acompanhamento, em íntima colaboração com o empresariado e com as comunidades científicas envolvidas.

• As agências de fomento, os bancos de investimento, o Sebrae e outros provedores de recursos financeiros de fomento deverão assumir o plano como diretiva comum e única para o financiamento da biotecnologia moderna no Brasil. Será fundamental que o plano seja tratado nessas agências com a prioridade concentrada que merecerá um programa nacional, especialmente no que tange à desburocratização, à valorização da qualidade do resultado e à idoneidade financeira dos mecanismos de manejo dos recursos públicos destinados a esse fim.

• Deve ser urgentemente providenciada a organização e oferta de cursos de nível técnico médio, de disciplinas de graduação e de cursos de mestrado e doutorado em biotecnologia. Essas operações devem ser complementadas por um sistema flexível de aperfeiçoamento técnico e científico no Brasil e no exterior (inclusive pós-graduação no exterior).

• Devem ser selecionados não menos do que cinco e não mais do que 10 centros científicos atuantes de biotecnologia para servirem de núcleo para um esforço concentrado de formação de parques tecnológicos voltados para (mas não necessariamente exclusivos de) EDBs. Esses parques tecnológicos deverão ter gestão autônoma, através de pessoas jurídicas em que o empresariado represente ao menos 50% do poder decisório.

• A formação de redes de comercialização envolvendo as micro e pequenas empresas biotecnológicas e as grandes empresas que constituem seu mercado-alvo devem ser uma preocupação primária das federações de indústria (e, portanto, da CNI) e das associações comerciais (incluindo a CNC). Para tanto, o Sebrae deverá exercer

papel central na formação e consolidação dos parques tecnológicos aqui tratados, em especial nos contatos das EDBs com o universo maior de micro e pequenas empresas bioprodutoras ou usuárias de bioprodutos que mais necessitem de modernização tecnológica e programas de qualidade total.

• O Executivo e o Legislativo devem tomar medidas importantes para criar as condições de contorno necessárias à concretização de um programa nacional de biotecnologia (tecnologia industrial básica, mecanismos de financiamento ágil e favorecido e viabilização de uma indústria de capital de risco).

Referências bibliográficas

Abrabi. *Contribuição para um tratamento da biotecnologia moderna na nova lei de propriedade industrial.* Comissão Especial de Propriedade Industrial da Abrabi, 1991a. (Proposta apresentada ao Congresso Nacional.)

———. *Programa de competitividade industrial* — setor biotecnologia. 1991b. (Proposta da Abrabi aprovada pela Câmara Setorial de Biotecnologia, DIC/SNI/MEFP.)

Burril, G. S. & Lee Jr., K. B. *Biotech 91: a changing environment.* San Francisco, Ernst & Young, 1991.

——— & ———. *Biotech 93: accelerating commercialization; an industry annual report.* San Francisco, Ernst & Young, 1993.

Coombs, J. & Campbell, P. N. *Biotechnology worldwide.* Newbury, CPL Scientific, 1991.

Guimarães, J. A. *Financiamento à ciência e tecnologia em ciências biológicas no Brasil.* (No prelo.)

Medeiros, J. A.; Medeiros, L. A.; Martins, T. & Perilo, S. *Pólos, parques e incubadoras: a busca da modernização e competitividade.* Brasília, CNPq/Ibict e Senai, 1992.

National Science Foundation. *Science and technology data book.* Washington, National Science Foundation, 1990. (NSF 90-304.)

Paes de Carvalho, A. *O pólo Bio-Rio: presente e futuro; um cenário de 1988 a 1998.* Rio de Janeiro, Fundação Bio-Rio, 1988. (Anexo ao plano diretor do pólo Bio-Rio.)

US Congress Office of Technology Assessment. *New developments in biotechnology: patenting life.* Washington, Government Printing Office, 1989.

———. *Biotechnology in a global economy.* Washington, Government Printing Office, 1991.

Zancan, G. *Formação de recursos humanos para a biotecnologia no Brasil.* OEA, 1992. (Projeto Multinacional de Biotecnologia e Tecnologia de Alimentos.)

Botânica, ecologia, genética e zoologia

*Sônia M. C. Dietrich**

1. Resumo histórico: as origens

A história da história natural no Brasil parece ter seguido o mesmo padrão do resto do mundo, no sentido de que a fase moderna da metodologia científica foi precedida por um período de exploração utilitária. O que distinguiu o Brasil dos demais países é que, aqui, a fase moderna aconteceu muito mais tarde (Pires-O'Brien, 1993).

A primeira iniciativa organizada para o desenvolvimento da atividade científica no Brasil foi a criação, em 1808, por dom João VI, do Horto Botânico Real, hoje Jardim Botânico do Rio de Janeiro, a primeira instituição para pesquisa de história natural no país. Em 1818 foi fundado, também no Rio de Janeiro, o Museu Nacional, na época Museu Imperial.

Até então, as anotações ditas eruditas sobre a flora e fauna do Brasil haviam sido feitas por Pero Vaz de Caminha, em sua carta descritiva da nova terra, e, mais tarde, pelas narrativas dos jesuítas Manoel da Nóbrega (1549) e José de Anchieta (1553), exaltando a flora e seus usos pelos índios (Roitman et alii, 1990).

Hans Staden, que viveu vários anos no Brasil, em seu livro editado em 1556 (e reeditado diversas vezes, inclusive em português, por Loefgreen, em 1930), relata a exportação do pau-brasil, a fabricação do cauim e as culturas de milho, mandioca e algodão, entre outras informações sobre a vegetação brasileira (Nogueira, 1987). Essa primeira fase é conhecida como a dos "cronistas não-especializados".

A fase seguinte tem início por volta de 1700 e foi marcada por intensa coleta de material biológico realizada por exploradores estrangeiros. Os dois primeiros, o holandês George Marcgrave (reconhecido por Martius como o pai da história natural brasileira) e o alemão Willem Pies (mais conhecido como Piso), chegaram ao Norte do Brasil em 1637, sob o governo de Maurício de Nassau. Em 1648, Marcgrave publicava a *Historia naturalis Brasiliae*, traduzida para o português por mons. d. José Procópio de Magalhães e editada em 1942 pelo Museu Paulista, em comemoração ao cinqüentenário da fundação da Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. A obra de Piso versou especialmente sobre as qualidades medicinais das diversas plantas do Nordeste brasileiro; traduzida para o portu-

* Instituto de Botânica, Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

guês por Alexandre Correia, foi editada em 1948, em comemoração ao cinqüentenário do Museu Paulista (Nogueira, 1987).

Entretanto, além de não ter tido influência sobre o resto do país, essa atividade científica foi descontinuada em função da política de Portugal de proibir o acesso das expedições científicas da época (tais como a do capitão James Cook, de 1768 a 1771, e a de Alexander von Humboldt e Aimé Bonpland, de 1799 a 1804) às terras brasileiras.

Dessa forma, apenas no final do século XVIII surgem os primeiros esforços de naturalistas brasileiros, como frei José Maria da Conceição Velloso e Alexandre Rodrigues Ferreira. Este último, atendendo a um pedido da rainha de Portugal para explorar as riquezas minerais e outras riquezas naturais do Brasil, conduziu um extenso levantamento da região amazônica. O material resultante dessa coleta de animais, plantas e minerais foi depositado no Museu Real da Ajuda (Pires-O'Brien, 1993) e posteriormente, durante a ocupação francesa, por ordem do general Junot, entregue ao naturalista Saint-Hilaire, juntamente com outras coleções, manuscritos e livros sobre a flora e a fauna do Brasil. Hoje, os espécimes de animais e plantas confiscados encontram-se no Museu de História Natural, em Paris, e muitos deles se transformaram em *tipus* de espécies descritas por Saint Hilaire (Goeldi, 1982). Data dessa época, também, o trabalho do médico e naturalista brasileiro Arruda Câmara que, em 1797, publicou a memória sobre a cultura do algodoeiro e trabalhos sobre botânica médica.

A abertura dos portos do Brasil facilitou o intercâmbio intelectual com outros países e a vinda de numerosos naturalistas ao país. Com a implantação das escolas de medicina, farmácia e odontologia, e engenharia, a história natural passou a fazer parte dos seus currículos.

Em 1817, chegaram ao Brasil, acompanhando a comitiva da futura imperatriz d. Leopoldina, o botânico Carl Friedrich Phillip von Martius e o zoólogo Johan Baptiste Spix. O mais espetacular resultado desse evento foi a publicação, no período compreendido entre 1840 e 1908, da monumental obra de Martius, *Flora brasiliensis*, de 40 volumes, catalogando mais de 20 mil espécies de nossa flora. Colaboraram nessa obra 38 botânicos alemães, sete austríacos, cinco ingleses, cinco suíços, quatro franceses, dois belgas, dois dinamarqueses, um holandês e um húngaro, não figurando entre os colaboradores um brasileiro sequer. Ao exaltar a contribuição dos naturalistas estrangeiros ao conhecimento da história natural do Brasil, Fernando de Azevedo (1955) lastima o fato de não terem eles, de um modo geral, procurado formar escolas no país.

A tradição do estudo das ciências naturais por brasileiros, iniciada por Rodrigues Ferreira, Velloso e Arruda Câmara, prosseguiu com frei Leandro do Sacramento (que introduziu o estudo da botânica no Brasil), Freire Alemão e Barbosa Rodrigues, entre outros. Apenas uma excursão liderada por brasileiros, destinada a estudar as províncias do Norte, foi realizada nesse período (em 1857), enquanto a vinda de naturalistas estrangeiros, inclusive Saint-Hilaire (1816-22), continuou sendo um fenômeno freqüente.

A biblioteca do Museu Nacional foi fundada em 1863 e a primeira revista científica brasileira de certa projeção, os *Arquivos do Museu Imperial*, começou a ser editada em 1876 (Nogueira, 1987). No final do século XIX e início do século XX, foram criados os primeiros institutos de pesquisa, destinados à busca de soluções para problemas da agricultura ou da saúde, como o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), em 1887 (então Imperial Estação Agrícola), o Instituto de Manguinhos, em 1899 (hoje Fundação Oswaldo Cruz), e o Instituto Butantã. Graças à visão científica de seus fundadores, essas instituições se transformaram em núcleos de pesquisa científica e origem de outras instituições congêneres. Iniciava-se o período moderno ou experimentalista da biologia no Brasil.

A pesquisa genética implantou-se em 1932, no Instituto Agronômico de Campinas, com Carlos Arnaldo Krug, que deu início a um intenso programa de melhoramento do café, algodão, milho e outras culturas de interesse econômico, e em Piracicaba, com F. G. Brieger. Como disciplina, a genética já era ensinada em São Paulo desde 1918 na Escola Agrícola de Piracicaba (hoje Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), e, desde 1919, no Rio de Janeiro, através dos cursos de citologia e embriologia ministrados por André Dreyfus (Perondini et alii, 1977).

De grande importância para a ciência nacional e, particularmente, para as ciências biológicas, foi a fundação, em 1935, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, para a qual foram chamados cientistas europeus de grande renome como Félix Rawitscher, na botânica, André Dreyfus, na genética, e Ernst Marcus, na zoologia, além de muitos outros para as áreas de química, física e matemática. A ecologia foi implantada nos anos 40, no Departamento de Botânica da Universidade de São Paulo, onde Félix Rawitscher ministrou os primeiros ensinamentos e desenvolveu as primeiras pesquisas de caráter ecológico, voltando-se particularmente para a vegetação do cerrado (Coutinho, 1977). Ao contrário dos seus antecessores, esses cientistas formaram no país escolas que, até hoje, detêm grande prestígio.

2. Objetivos e metodologia

Para a realização de um levantamento quantitativo e semiqualitativo dos pesquisadores das áreas de botânica, ecologia, genética e zoologia, foram utilizados os dados disponíveis nas agências de fomento, principalmente no CNPq e na Capes. Em ambos os casos, os dados são parciais, pois se referem às populações de usuários desses sistemas, não englobando, portanto, toda a comunidade científica dessas áreas. Por essa razão, dados publicados no passado por essas mesmas agências, como em *Avaliação e perspectivas* de 1978 e 1981, além de outros, provenientes de outras fontes, como os fascículos sobre ciência e tecnologia no estado de São Paulo, editados e publicados pela Aciesp em 1977, também foram utilizados, quer como elementos de aferição quantitativa, quer como indicadores da evolução dessas áreas até o presente.

Para análise comparativa da situação dessas quatro áreas da biologia no que se refere aos contingentes de pesquisadores, à capacidade de formação de recursos humanos e à produtividade científica, utilizaram-se dados das fontes já mencionadas. Esses dados também são parciais, embora proporcionais para as quatro áreas, fornecendo, assim, uma visão geral da capacidade nacional instalada das ciências biológicas nessas quatro importantes áreas da biologia.

A questão da disponibilidade de recursos financeiros também é abordada, embora de maneira resumida, uma vez que as ciências biológicas básicas fazem parte de um quadro geral de grave deficiência de recursos para a pesquisa científica e tecnológica nacional. São inclusive sugeridas algumas medidas de caráter geral visando melhorar o desempenho dessas áreas. Medidas mais específicas, entretanto, só podem ser tomadas mediante propostas de grupos de especialistas de cada uma das áreas, e, mesmo, subáreas, respeitando-se as características específicas e os anseios dos grupos qualificados já existentes, dos quais devem partir, naturalmente, as propostas.

Diante disso, este artigo pretende servir como uma base para a avaliação da situação atual das quatro áreas, vistas como um conjunto e analisadas a partir de critérios objetivos e subjetivos de um único observador.

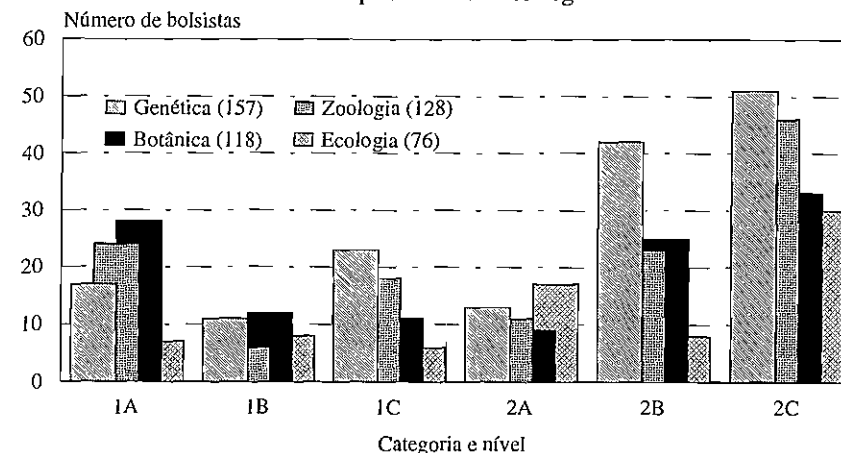
3. Principais grupos e linhas de pesquisa em botânica, ecologia, genética e zoologia no Brasil

Um levantamento preciso dos principais grupos dessas áreas é tarefa difícil, dada a dispersão (e mesmo imprecisão) dos dados disponíveis, em função das diferenças nos procedimentos utilizados para sua coleta pelas distintas fontes. Por outro lado, dados parciais, porém recentes e precisos, podem, separadamente ou em conjunto, permitir a visualização do panorama atual das áreas e de seus principais núcleos de pesquisa.

O levantamento parte dos dados do CNPq sobre seus bolsistas de pesquisa e da forma como se distribuem por categoria e níveis (dentro de cada categoria), nas diferentes instituições e regiões do país. Apesar da precariedade de informações sobre o número de bolsas disponíveis e sobre a iniciativa dos próprios pesquisadores em solicitá-las, o pressuposto deste artigo é que este universo representa uma amostra significativa dos pesquisadores brasileiros e de suas qualificações.

Atualmente, um dos requisitos do CNPq para a concessão de uma bolsa de pesquisa, ainda que nos níveis iniciais (2C), é que o candidato tenha o título de doutor, ou *curriculum vitae* equivalente. Portanto, o bolsista pesquisador do CNPq, mesmo no nível inicial (2C), já deve, teoricamente, possuir formação acadêmica e capacitação científica para iniciar e desenvolver um projeto de pesquisa independente.

A distribuição dos bolsistas do CNPq nos seis níveis para cada uma das quatro áreas aqui analisadas (figura 1) revela que, ao todo, são menos de 500 pesquisadores, distribuídos, em ordem decrescente, da genética (157), zoologia (128), botânica (118) à ecologia (76). Esses dados estão de acordo com a história do desenvolvimento científico dessas áreas. A genética foi, sem dúvida, a que mais se desenvolveu em termos qualitativos e quantitativos, a partir do seu estabelecimento na década de 30, para o que contou com forte apoio da Fundação Rockefeller e, posteriormente, com o incentivo de um programa especial do CNPq/Finep, o Programa Integrado de Genética (PIG), levando a um aumento do interesse e da qualificação profissional dos integrantes dessa área. A botânica e a zoologia têm um número próximo de bolsistas do CNPq, enquanto a ecologia, que se implantou como área científica mais recentemente, é a que menos bolsas de pesquisa recebe.

Figura 1
Distribuição dos bolsistas do CNPq por categorias e níveis, nas quatro áreas da biologia

A análise da distribuição dos pesquisadores por níveis e categorias em cada uma dessas áreas revela que a botânica e a zoologia têm o maior contingente relativo de pesquisadores 1A, ou seja, daqueles que, segundo os comitês do CNPq, atingiram o limite máximo da capacitação científica e de atuação em sua especialidade. Na botânica, o número desses profissionais chega bem próximo ao daqueles que estão ingressando no sistema de bolsas do CNPq, ou seja, dos jovens doutores. Já a genética guarda um equilíbrio moderado entre os diferentes níveis, enquanto na ecologia a maioria das bolsas de pesquisa se concentra na categoria 2 (principalmente 2C e 2A), sugerindo o

estado de "juvenilidade" — mas também, a pujança — do crescimento em qualidade na área.

O grande número de pesquisadores 1A na botânica e zoologia merece alguma reflexão. À primeira vista, seria possível supor que os critérios de qualidade para classificação dos pesquisadores sejam mais condescendentes que nas demais áreas. Isso, no entanto, não explica a existência de tão poucos pesquisadores nos níveis 1B e 1C. Por outro lado, se existem relativamente tantos pesquisadores tão qualificados, qual a razão dos demais níveis não formarem uma série crescente, como está próximo de ser o caso na genética, por exemplo? Uma das hipóteses é que alguns desses pesquisadores altamente qualificados não tenham formado escola, e que, portanto, não tenham deixado seguidores. Outra possibilidade é que essas áreas tenham, em determinado período, recebido menor apoio, por parte dos órgãos de fomento ou das próprias instituições, decorrendo daí a evasão ou o desinteresse por essas áreas. Essas hipóteses não são excludentes e, tampouco, as únicas para explicar os dados. Serão necessárias análises individuais dos casos para se chegar a uma conclusão, para então trabalhar no sentido de alterar esse estado de coisas. Embora ambas as áreas tenham sido objeto de programas especiais do CNPq na década de 70 (Programa Flora e Plano Nacional de Zoologia), não se conseguiu com eles a eficácia desejada (Menezes, 1992; Vanzolini, 1982).

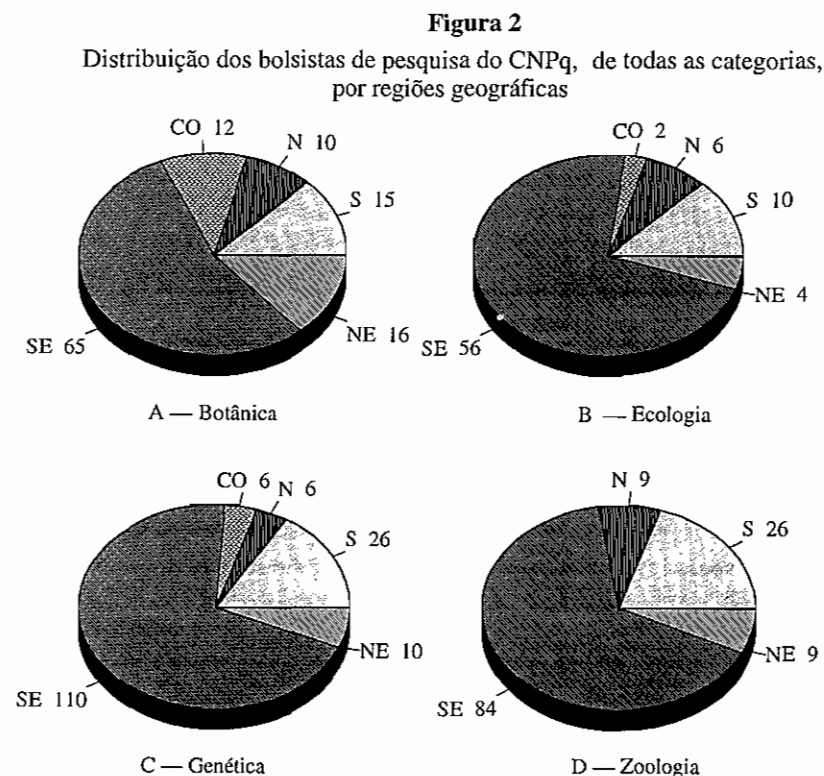
Os números dos bolsistas — pesquisadores distribuídos por suas respectivas instituições — indicam que, em maior ou menor grau, a pesquisa botânica está representada no país em 37 instituições, a zoologia em 33, a genética em 26 e a ecologia em 21 (dados do CNPq de 1993, não publicados). Dessas instituições, a USP é a que tem o maior número de bolsistas pesquisadores nas quatro áreas, e apenas na botânica seu número (14) é equiparado pelo Instituto de Botânica (IBt) da Secretaria do Meio Ambiente. Esses dados permitem concluir que os núcleos de botânica de maior expressão são o da USP e do Instituto de Botânica, além da Unicamp, da Unesp (campus de Botucatu), da UFRGS, do Museu Paraense Emílio Goeldi e do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JB/RJ). Existe, nessas instituições, um contingente significativo de botânicos que se distribuem desde os níveis mais elevados até os iniciais. USP, Unicamp, UFRS, Unesp/Botucatu e UFSCar estão entre os principais núcleos de pesquisa em ecologia. Essas mesmas instituições, acrescidas da UFRJ, UFV, da Fundação Oswaldo Cruz e da UFPr, constituem a espinha dorsal da genética e da zoologia. Nesta última área há que acrescentar o Inpa, a UFRRJ, a UFMG e o Museu Emílio Goeldi (MPEG).

Um número considerável de pesquisadores trabalha em instituições não-acadêmicas ou que não oferecem ensino em nível de pós-graduação, por motivos vários que vão desde a baixa concentração de pesquisadores em determinadas instituições de ensino e pesquisa, inviabilizando a criação de um curso de pós-graduação adequado, até a própria origem histórica e a tradição das ciências naturais no Brasil, iniciadas e mantidas nos institutos de pesquisa. Muitos

desses pesquisadores, entretanto, participam ativamente da formação de recursos humanos, inclusive como docentes colaboradores dos cursos oficiais de pós-graduação.

Por outro lado, esses dados apontam para a necessidade de instalação de novos núcleos de pesquisa qualificados em regiões e áreas de concentração até agora menos aquinhoadas. A distribuição percentual dos pesquisadores por região geográfica (figura 2) revela um quadro verdadeiramente preocupante (embora já conhecido), face ao exíguo percentual de pesquisadores nas regiões Norte e Centro-Oeste e sua enorme concentração na região Sudeste. São exatamente as regiões de maiores dimensões territoriais e que abrigam a mais alta diversidade de flora e fauna e os ecossistemas de maior interesse científico e estratégico nacional, como a Amazônia e o Pantanal, as que dispõem de menor número de cientistas. Apenas na botânica se percebe uma certa tendência à dispersão geográfica, provavelmente em função dos programas do CNPq de incentivo à área: o Programa Flora, nos anos 70, e as Linhas de Ação em Botânica, no final dos anos 80 (Nogueira, 1987).

Figura 2

Distribuição dos bolsistas de pesquisa do CNPq, de todas as categorias, por regiões geográficas

A grande concentração de pesquisadores em um número reduzido de instituições nas regiões mais desenvolvidas leva a uma concentração das linhas de pesquisa em problemas de interesse comum a esses grupos e que, além disso, se encontrem ao seu alcance geográfico.

Embora os pesquisadores das regiões Sul e Sudeste participem de atividades de pesquisa e, mesmo, da formação de recursos humanos nas regiões menos favorecidas, as grandes distâncias, por um lado, e a pouca vivência dos problemas locais, por outro, fazem com que, em termos práticos, essas ações tenham pouca eficácia.

Na botânica e na zoologia, que tiveram origens comuns em termos tanto da época quanto das instituições em que surgiram, predominam ainda hoje as pesquisas em taxonomia e a morfologia (tabela 1). A taxonomia de plantas e animais está muito longe de fornecer um conhecimento completo da flora e fauna nacionais. Na zoologia, à exceção das aves, os demais grupos não estão catalogados de forma adequada (Vanzolini, 1982), cabendo a ressalva de que, entre os vertebrados, apenas peixes e répteis são estudados de forma representativa, e, entre os invertebrados, principalmente crustáceos, moluscos e aracnídeos (Narchi, 1977 e listagens de projetos e minidiretórios do CNPq). Segundo Martins (1977), no que se refere à taxonomia e morfologia, a situação da entomologia não difere das demais. Das cerca de 800 famílias de insetos conhecidas mundialmente, abaixo de 100 são ao menos estudadas no Brasil. Como a entomologia está geralmente associada às instituições de pesquisa agronômica, os insetos mais estudados são os úteis e os que representam pragas para a agricultura.

Tabela 1

Distribuição relativa por subáreas dos pesquisadores bolsistas do CNPq em três áreas da biologia

	% do total de pesquisadores bolsistas da área			
	Botânica	Zoologia	Genética	
Taxonomia	36,6	53,9	Vegetal	19,6
Fisiologia	34,1	4,7	Animal	26,6
Morfologia	15,0	18,0	Humana[1]	20,9
Aplicada	7,1	12,5	Microorganismos[2]	28,5
Comportamento	0	10,1	Mutagênese	2,5
Paleontologia	0,8	0,8	Quantitativa	1,3
Geografia	0,8	0	Outras	0,6
Outras	5,6	0		

Fonte: CNPq (1993).
[1] Inclui genética médica.
[2] Inclui genética molecular.

Na botânica, a taxonomia de fanerógamos abrange poucos estudos amplos de floras estaduais, concentrando-se mais em floras de áreas restritas, incluindo muitas reservas biológicas e, mais recentemente, alguns ecossistemas selecionados (Menezes, 1992; Nogueira, 1987). Por sua vez, a fisiologia (e bioquímica) vegetal apresenta um alto percentual de pesquisadores qualificados pelo CNPq. Isto se deve em grande parte às escolas fundadas desde o início deste século nos institutos de pesquisa e na USP. No entanto, a maior parte dos estudos nessa subárea se realiza ainda em instituições ligadas à agronomia. Faltam estudos em linhas de fundamental importância tanto na área básica quanto na aplicada, como fotossíntese e relações hídricas, entre outros (Menezes, 1992 e consultas ao minidiretório do CNPq).

A fisiologia animal é tratada, dentro do CNPq, como uma área individual do conhecimento. As razões para esta separação remontam, mais uma vez, às origens da diversificação das subáreas ou disciplinas da botânica e da zoologia. Enquanto a fisiologia vegetal surgiu dentro de departamentos de botânica, a partir da década de 40, a fisiologia animal emergiu mais precocemente como uma área específica, no final do século passado. A partir de sua implantação, no Museu Nacional, sob a liderança de Louis Couty, difundiu-se pelas faculdades de medicina e por outras instituições mais ligadas a aspectos de interesse humano (Roitman et alii, 1990). Portanto, os pioneiros da botânica e da zoologia deixaram marcas que subsistem até hoje no tipo preferencial de abordagem e, conseqüentemente, até mesmo no grau atual de desenvolvimento dessas áreas no país.

A genética também carrega a marca e as tradições de suas origens. Essa área já atingiu relativa maturidade no país, e é representada por numerosos cientistas com alta qualificação e elevado conceito em âmbitos nacional e internacional, além de apresentar linhas de pesquisa bem estabelecidas e de representatividade equilibrada (tabela 1). Embora parciais, os dados revelam que, antes de 1980, só o estado de São Paulo contava com um total de 154 geneticistas com doutorado (Perondini et alii, 1977).

O rápido desenvolvimento das novas tecnologias, em especial das que envolvem o DNA recombinante, aliado à deterioração generalizada no país do apoio à pesquisa científica, vem provocando mudanças nessa situação privilegiada de liderança da genética em relação às outras três áreas. A maioria dos biólogos moleculares não está mais vinculada aos pesquisadores da genética, e sim aos da bioquímica e da microbiologia, o que significa que, atualmente, as principais iniciativas e linhas de pesquisa da biologia molecular partem desses grupos. Entretanto, a biologia molecular já está se transformando em uma área de pesquisa com características individualizadas e que, embora multidisciplinar, requer uma análise específica.

Da mesma forma, para uma análise das principais linhas ou mesmo subáreas de pesquisa da ecologia, seria necessária uma discriminação mais detalhada do que a do CNPq, com base na qual 78 pesquisadores se distribuem entre a ecologia de ecossistemas (46), a ecologia aplicada (27) e a teórica (5). A primeira

subárea engloba todos os ecossistemas terrestres e os aquáticos, tanto continentais quanto marinhos. A segunda agrupa os pesquisadores da ecologia humana, do manejo e da conservação de ecossistemas, além dos que estudam problemas de poluição e correlatos. Ainda que muitos aspectos dessas subáreas estejam sendo abordados em nível científico elevado e em outras já existam núcleos emergentes (Tundisi, 1977), o número de pesquisadores na área (figura 1) e sua distribuição geográfica (figura 2) por si só indicam a existência de muitas lacunas nas linhas de pesquisa e apontam para o fato de que muitos problemas ecológicos básicos não estão sendo estudados.

4. Capacidade e qualidade na formação de recursos humanos

O CNPq e a Capes são responsáveis por uma grande parcela de bolsas de formação de recursos humanos para a pesquisa científica, desde a iniciação científica até o pós-doutorado (tabela 2). A Fapesp e as outras FAPs criadas mais recentemente completam, em maior ou menor proporção, esse quadro.

Tabela 2

Bolsas para formação de recursos humanos para pesquisa no país e no exterior 1992

Área	No país				No exterior
	IC	AP	M	D	
	850*	137*			83*
Botânica			128	49	
Ecologia			107	34	
Zoologia			144	44	
Genética	247	38	99	98	38

Fontes: CNPq e Capes.
* Somatório das áreas de botânica, ecologia e zoologia.
IC — iniciação científica; AP — aperfeiçoamento; M — mestrado; D — doutorado.
No exterior inclui todas as modalidades: especialização, mestrado, doutorado e pesquisador "senior".
Cerca de 70% das bolsas no exterior são de doutorado.

O número de cursos de pós-graduação em funcionamento e algumas de suas características estão apresentados na tabela 3. Embora relativamente pequenos, esses números são compatíveis com o número de docentes que participam desses cursos. Além do corpo docente regular das universidades, pesquisadores dos institutos isolados também participam como docentes e, quando essa colaboração tem caráter permanente, eles são computados nos dados da Capes aqui apresentados.

Tabela 3

Desempenho dos cursos de pós-graduação nas quatro áreas da biologia

Área	Nº de cursos		Disciplinas oferecidas	Docentes[1]		Alunos inscritos[1]		Alunos titulados/ano[2]		Tempo médio de titulação[2]	
	M	D		Total	c/D	M	D	M	D	M	D
Botânica	11	5	195	223	179	298	169	80	21	4,1	6
Ecologia	12	5	167	310	287	429	152	55	14	4,5	5,7
Genética	11	8	136	159	155	274	231	52	14	3,5	5,0
Zoologia	11	6	203	275	246	316	177	56	14	4,1	5,5
Total	45	24	701	967	867	1.317	729	243	63		

Fonte: Capes (1990/91) e GTC/Capes (jan. 1993).
[1] Em 1991.
[2] Média dos anos 1990/91.
M — mestrado; D — doutorado.

Em todas as áreas, a proporção das instituições de ensino superior (IES) que oferecem apenas cursos no nível de mestrado é relativamente elevada, exceto na genética, onde cerca de 80% dos cursos cobrem a formação tanto de mestres quanto de doutores. Na genética, o total de docentes se aproxima bastante do número daqueles com título de doutor e do total de bolsistas pesquisadores do CNPq (figura 1), corroborando o maior equilíbrio da área. No caso da botânica e da zoologia, a quase totalidade dos docentes tem título de doutor, mas apenas 50% desses correspondem a bolsistas do CNPq. Embora várias razões possam explicar essa defasagem, a limitação no número de bolsas oferecidas parece ser o fator mais importante.

É na ecologia que a discrepância ente o número de pesquisadores do CNPq e de docentes doutores da Capes é maior, com quase quatro vezes mais doutores do que pesquisadores bolsistas. Esse valor cai para 2,5 vezes quando se exclui o recém-iniciado curso de ciência ambiental da USP que, por ser eminentemente multidisciplinar, inclui docentes de muitas áreas, inclusive não-biológicas, e congrega também docentes já engajados em cursos de pós-graduação de outras áreas. Ainda assim, a discrepância entre doutores e pesquisadores bolsistas do CNPq é grande e aponta para a necessidade de uma revisão, por esse último, dos critérios de alocação de bolsas.

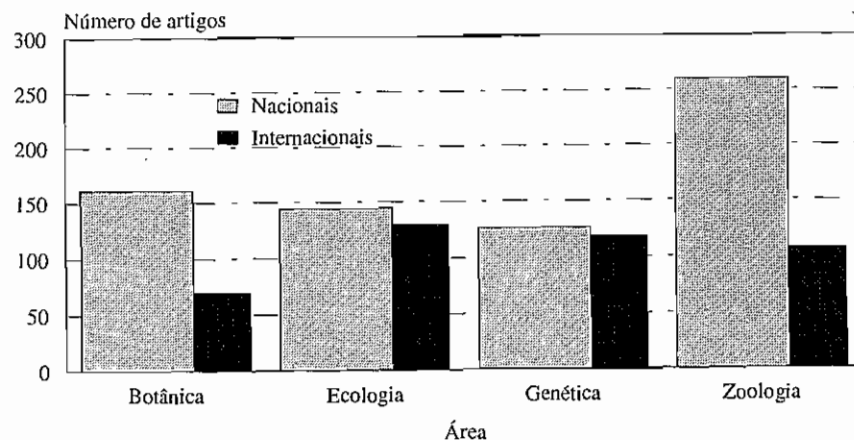
A ecologia ainda é uma área nova, já que, diferentemente das demais, onde os cursos de pós-graduação se iniciaram quase sempre por volta de 1970, seus cursos mais antigos datam de 1976, enquanto a pós-graduação só veio a ser implantada nos anos 80 e 90.

O número de estudantes titulados anualmente, nos últimos dois anos, varia bastante entre as áreas, mas, para todas, predominam os estudantes de mestrado. O tempo médio para a titulação tanto de mestres quanto de doutores é mais curto na genética. Dados da própria Capes para períodos anteriores (Roitman et alii,

1992) indicam um aumento considerável do número de titulados por ano e um gradual encurtamento do tempo de titulação em todas as áreas. Em parte, isto decorre das limitações impostas pelos órgãos de fomento nos prazos de duração das bolsas. Um fator de peso, no entanto, foi o aumento substancial, a partir de 1987, do número de bolsas de aperfeiçoamento e, principalmente, de iniciação científica, pelo CNPq, inclusive com a criação do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic). Incentivos desse tipo contribuem para o aumento do interesse dos estudantes pela carreira científica, além de conduzir ao engajamento, na pós-graduação, de estudantes mais bem treinados (ou iniciados) em atividades científicas de campo ou de laboratório.

A produção científica é publicada, principalmente, em periódicos nacionais, nas áreas de botânica e zoologia, e em iguais proporções em revistas nacionais e internacionais, na genética e ecologia (figura 3). Nesse sentido, há, mesmo, uma tendência à convergência entre as áreas mais recentes e as mais consolidadas quanto aos mecanismos de divulgação de seus resultados de pesquisa. Se é certo que a botânica, a zoologia e a ecologia têm como objeto de estudo a flora ou a fauna nacionais ou ambas, os objetivos e métodos são distintos e os resultados interessam a públicos diferentes, principalmente após o despertar mundial da preocupação com a preservação do meio ambiente. Dessa forma, pesquisadores da área ecológica têm tido maior interesse em publicar em revistas de circulação mais ampla, ao mesmo tempo em que essas revistas têm sido mais receptivas a esses artigos, especialmente quando originários de países tropicais, que ainda dispõem de vastas áreas a serem preservadas.

Figura 3

Produção científica em revistas nacionais e internacionais dos docentes dos cursos de pós-graduação nas quatro áreas da biologia

Um levantamento parcial das citações de artigos de pesquisadores nacionais das quatro áreas, escolhidos aleatoriamente entre pesquisadores do nível 1 do CNPq, mostrou que os trabalhos dos geneticistas e ecólogos são citados e publicados com maior freqüência em revistas indexadas do que os de botânicos e zoólogos (dados não mostrados). É certo que o fato de a genética possuir uma revista indexada no *Current Contents* — a *Revista Brasileira de Genética*, publicada pela Sociedade Brasileira de Genética — confere maior possibilidade aos trabalhos dos geneticistas nas citações bibliográficas internacionais. Mas a própria indexação da revista é, sem dúvida, conseqüência da boa qualidade dos artigos e da periodicidade da publicação. Recentemente, a *Revista Brasileira de Botânica* — fundada pela seccional de São Paulo da Sociedade Botânica do Brasil e editada desde 1989 pela Sociedade Botânica de São Paulo — foi também indexada no ISI.

É provável, que esse quadro venha a se alterar em futuro próximo, devido ao crescente interesse pela biodiversidade, tornando-se necessário que botânicos, zoólogos, geneticistas e ecólogos estejam preparados para mudanças de enfoque e de metodologias em seus trabalhos.

Os cursos de pós-graduação com maior número de trabalhos científicos publicados, com mais docentes com doutorado, maior número de teses defendidas, e em menor tempo, e com conceitos mais altos nas avaliações da Capes concentram-se nas regiões Sudeste e Sul. Exceção são os cursos do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia nas áreas de botânica, ecologia e zoologia, que, apesar de terem conceitos relativamente mais baixos na Capes, apresentam quantidade considerável de artigos publicados, principalmente em revistas internacionais. Os conceitos emitidos pela Capes sobre a qualidade dos cursos de pós-graduação sofrem, em algumas áreas, do *bias* de serem emitidos por comitês de que participam os próprios coordenadores ou ex-coordenadores desses cursos. Por outro lado, em certos cursos, como no do Inpa, é freqüente a participação de pesquisadores estrangeiros que conduzem suas pesquisas na região, e que, no entanto, normalmente publicam em seus países de origem, o que conduz a discrepâncias do tipo já apontado.

Uma reavaliação dos mecanismos e critérios para emissão dos conceitos e do processo de coleta dos dados sobre os cursos de pós-graduação deverá melhorar a consistência dos dados e a credibilidade da avaliação. A concentração dos pesquisadores e dos cursos mais qualificados nas regiões Sudeste e Sul tem sido uma tônica na maioria das áreas de pesquisa científica. As exceções é que merecem uma análise mais cuidadosa, pois representam vias que permitirão o melhor entendimento do sucesso de certos núcleos de pesquisas situados em regiões menos favorecidas, e o fracasso de outros localizados em regiões mais desenvolvidas.

5. Recursos financeiros para a pesquisa

O financiamento das atividades de pesquisa vem sendo realizado, nos últimos 40 anos, através de agências especialmente criadas para essa finalidade, seja no âmbito federal, como o CNPq, a Finep (agências do MCT) e a Capes (MEC), ou estadual, como a Fapesp e outras FAPs criadas a partir de 1989 (Guimarães, 1993). Os ministérios, secretarias de Estado e outros estabelecimentos de ensino superior que abrigam instituições de pesquisa em seus quadros, têm-se limitado a cobrir gastos com os salários dos pesquisadores e com seu apoio logístico. Essa situação é comum a todas as áreas da ciência e, portanto, aplica-se igualmente às ciências biológicas. O apoio através de agências internacionais é relativamente pequeno, embora essencial para os grupos que dele gozam.

A partir de 1988, houve uma redução no total de recursos das agências federais, que se acentuou em 1991 e 1992. Essa redução se refletiu principalmente no programa de fomento aos projetos de pesquisa do CNPq e do FNDCT/Finep, ao passo que o número de bolsas concedidas se manteve praticamente estável, embora o valor mensal tivesse sofrido uma redução drástica em relação aos valores do período 1987/88 (CNPq, 1993).

A Fapesp, por sua vez, vem ampliando os recursos de apoio a projetos, tendo, inclusive, instituído uma nova modalidade, a de projetos temáticos, de maior aporte de fundos e mais longa duração, e outra de apoio a bibliotecas. Das 21 FAPs existentes, apenas oito têm recebido recursos dos estados, quase sempre inferiores aos que foram estabelecidos pelas Constituições estaduais (*Jornal Ciência Hoje*, 1993). Esses recursos vêm sendo aplicados quase integralmente no apoio a projetos de pesquisa e chegam a constituir quase 10% dos recursos que, somados aos 40,8% advindos da Fapesp, elevam para 50% o apoio dos estados aos projetos de pesquisa financiados pelas principais agências de fomento do país (tabela 4).

Tabela 4
Participação percentual das agências de fomento no aporte de fundos para a pesquisa biológica, segundo Guimarães (1993)
Incluídas todas as áreas biológicas básicas

Agência	Bolsas %	Auxílio %	Recursos	
			Totais	%
CNPq	62,1	15,5	32,75	34,3
Finep/FNDCT*	–	22,7	12,96	13,6
Capes	32,6	–	12,54	13,1
PADCT	–	11,8	6,74	7,0
Fapesp	4,5	40,8	25,03	26,2
Outras FAPs	0,8	9,2	5,57	5,8
Total	100	100	95,59	100

* US$ milhões.

Em qualquer circunstância, essa redução dos recursos destinados à pesquisa teria efeitos altamente prejudiciais para o desenvolvimento científico e tecnológico, especialmente porque o Brasil sempre aplicou um percentual reduzido do seu PIB em ciência e tecnologia (Roitman,1990; *Jornal Ciência Hoje*, 1993). Torna-se, porém, dramática, em face da atual crise econômica, e até fatal, por se seguir a um período de franco crescimento, em que tanto as agências quanto os cientistas investiram fortemente na formação de recursos humanos e iniciaram a instalação ou recuperação de seus laboratórios (CNPq, 1993). Com isso, vem se consumando uma ação do tipo "penicilina", em que aqueles que mais crescem são também os mais prejudicados (ou dizimados).

Caso essa situação não venha a ser corrigida com urgência, dela decorrerão, inexoravelmente, a redução da produtividade, a evasão dos jovens e o desmantelamento de equipes de pesquisa, exatamente em um momento em que se espera dos cientistas, particularmente da área biológica, respostas para os grandes problemas ambientais que vêm se agravando rapidamente.

6. Perspectivas e expectativas

A alarmante destruição dos recursos naturais e suas conseqüências têm levado a uma crescente conscientização da comunidade para a necessidade urgente da conservação da biodiversidade. As razões para esse interesse podem ser várias. Se, por um lado, há os que vêem nas mudanças que estão ocorrendo nos ecossistemas naturais uma ameaça para sua sobrevivência, há também os que reconhecem que a variabilidade genética é essencial para a manutenção de gens necessários ao melhoramento da produtividade de espécies economicamente importantes (Solbrig, 1991).

Com o surgimento da biotecnologia, que, através da engenharia genética, viabiliza a transferência de gens de uma espécie para outra, todas as espécies selvagens passaram a apresentar interesse econômico intrínseco.

O Brasil abriga as mais diversificadas e as menos conhecidas flora e fauna do mundo. Mantidos fora do alcance do conhecimento científico, boa parte desses recursos genéticos, de importância ignorada e incalculável, está se perdendo em ritmo acelerado (Fearnside, 1990; Arroyo et alii, 1991). Ao mesmo tempo, esse patrimônio torna-se alvo de interesses alheios, e os benefícios decorrentes de sua apropriação e utilização acabam por ficar fora do alcance do país.

Compete, pois, aos cientistas brasileiros a tarefa de conhecer, em todos os seus aspectos, a diversidade biológica de seu território, já que, só quando detivermos esse conhecimento, poderemos fazer dele uso adequado e em benefício próprio.

A primeira dificuldade que se antevê é a falta de recursos, porquanto todas as medidas para incrementar o estudo da biodiversidade em um território das dimensões do Brasil e de grande riqueza biológica passam pela necessidade urgente de ampliação dos orçamentos de C&T. Com os orçamentos reduzindo-se a cada ano, a devastação acelerada e a permissividade (inclusive legalizada) na

exploração das riquezas naturais do país, por grupos internos e externos, em breve pouco restará da rica e propalada biodiversidade tropical e subtropical para ser racionalmente aproveitada pelos nativos dessas regiões.

Entretanto, o simples incremento nos recursos financeiros não é suficiente. É necessário que a comunidade científica nacional se conscientize da necessidade desses estudos, do nível elevado em que devem ser conduzidos e de um planejamento racional em que se definam prioridades, evitando o supérfluo e o repetitivo. Há, entre os cientistas de algumas das áreas aqui analisadas, a tendência de duplicar núcleos de pesquisa, transpondo de um para outro as mesmas linhas de investigação, metodologias, objetivos e, até, objetos da pesquisa. Um estudo relativamente recente, baseado em um modelo que levou em consideração as publicações científicas mundiais e as classificou em 37 mil áreas de especialização, mostrou que embora o Brasil figure entre os cinco países da América Latina com maior número de publicações, estas só abarcam 6,1% das áreas de especialização mencionadas (Krauskopf, 1990). No outro extremo estão os Estados Unidos, que abarcam em suas pesquisas 96% dessas áreas de especialização.

Mesmo levando em conta o *bias* introduzido pela escolha de um banco de dados que utilizou predominantemente citações dos países desenvolvidos, e o fato de as ciências biológicas serem relativamente mais difundidas no Brasil do que outras áreas da ciência (Krauskopf, 1990), o baixo número de pesquisadores nacionais confirma que muitas das linhas de especialização não estão sendo cobertas.

Se o conhecimento da biodiversidade pode se configurar como uma meta nacional capaz de congregar botânicos, zoólogos, geneticistas e ecólogos, é possível propor medidas gerais que conduzam a um crescimento simultaneamente quantitativo e qualitativo dessas áreas. Algumas dessas medidas estão diretamente vinculadas ao aumento de recursos disponíveis para o sistema de C&T. Reequipar os laboratórios de grupos qualificados, sucateados no decorrer da atual crise econômica, aumentar o número de bolsas no exterior, especialmente para os recém-doutores bem qualificados ampliarem seus conhecimentos e horizontes de pesquisa, fornecer condições materiais para a realização de expedições científicas para a coleta de material e de dados, melhorar a infra-estrutura para armazenamento de coleções de material de referência e de germoplasma, incentivar a vinda de cientistas estrangeiros para trabalharem em conjunto com cientistas nacionais, contribuindo para a formação de recursos humanos, aumentar o intercâmbio intra e interdisciplinar, através de apoio a reuniões científicas são medidas que dependem de uma decisão política de alocação de recursos.

Por outro lado, compete aos cientistas fazer uso adequado dos recursos, escolhendo sempre as pessoas e locais mais qualificados para o desenvolvimento dessas atividades. Se o conhecimento da biodiversidade é uma área de interesse comum entre botânicos, zoólogos, geneticistas e ecólogos, a prioridade para eles é, sem dúvida, o levantamento dos dados pertinentes existentes nas diversas áreas e a divulgação dessas informações entre os diferentes segmentos dessa comunidade. Com raras exceções, o que se verifica, atualmente, é que o conhecimento é fragmentado, inclusive entre os integrantes de uma mesma área ou, até, subárea da pesquisa, e praticamente inexistente entre as distintas áreas.

Além disso, apesar do crescimento das áreas biológicas no Brasil, as lacunas ainda são muito grandes e os pesquisadores qualificados, insuficientes para atender às necessidades de conhecimento em tempo igual ou superior ao da devastação que vem ocorrendo. É necessário, portanto, eleger prioridades. Muitos pesquisadores já se manifestaram nesse sentido em trabalhos semelhantes ao atual. Ao efetuar uma análise da situação da ecologia animal terrestre, no estado de São Paulo, Vanzolini (1977) apresentou uma análise lúcida do panorama da época e propostas para um estudo racional da área e de suas correlatas, os quais não se alteraram, em essência, até os dias de hoje. O inventário da diversidade existente, que envolve o concurso de pesquisadores de todas as áreas, era, e ainda é, o passo primordial.

A seleção das áreas geográficas, e ecossistemas (ou domínios morfoclimáticos), ou mesmo grupos de espécies a serem estudados prioritariamente, deverá resultar do levantamento de informações, disponibilidade de recursos materiais e humanos e importância científica e econômica desses estudos. Entretanto, algumas sugestões, de caráter geral, podem, desde já, ser colocadas para discussão. As regiões priorizadas para estudo devem apresentar diversidade ecológica, riqueza em espécies, presença de número considerável de espécies endêmicas e, ao mesmo tempo, corresponder às áreas mais suscetíveis ou ameaçadas de destruição, apresentar possibilidades de manejo e, também, um número expressivo de espécies reconhecidamente passíveis de aproveitamento econômico.

Referências bibliográficas

Almeida, D. F. *Genética.* Brasília, Seplan/CNPq, 1992. p. 199-255. (Avaliação e Perspectivas, 14.)

Arroyo, M. K.; Raven, P. H. & Sarukan, J. *Biodiversity.* Vienna, Áustria, 1991. 17p. (International Conference on an Agenda of Science for Environment and Development into the 21st Century.)

Azevedo, Fernando de. *As ciências no Brasil.* São Paulo, Melhoramentos, 1955. 2v.

CNPq. O orçamento do CNPq no período 1980-1992 à beira do colapso. *Informe Estatístico.* Brasília, MCT/CNPq/DAD/SUP/Cooe, *4*(2), 1993.

Como vão os órgãos estaduais de amparo à pesquisa? *Jornal Ciência Hoje*, 7:2.674-5, 1993.

Coutinho, L. M. *Ecologia.* São Paulo, Aciesp, 1977. p. 11-5. (Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo, IX.)

Fearnside, P. M. The rate and extent of deforestation in Brazilian Amazonia. *Environment Conservation, 17*(3):213-26, 1990.

Goeldi, E. A. *Alexandre Rodrigues Ferreira.* Brasília, Universidade de Brasília, 1982. 80p.

Guimarães, J. A. Financiamento à ciência e tecnologia em ciências biológicas no Brasil. In: Allende, J. E. (ed.). *La financiación de las ciencias biológicas en Latinoamérica.* 1993. (Anais do 3º Simpósio Relab.)

Krauskopf, M. Indicadores epistemométricos que perfilan la productividad científica en América Latina. Realidades y desafíos. In: Allende, J. E. (ed.). *La biología como instrumento de desarrollo para América Latina.* 1990. p. 535-61. (Anais do 1º Simpósio Relab.)

Martins, U. R. *Entomologia sistemática.* São Paulo, Aciesp, 1977. p. 9-25. (Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo, X.)

Menezes, N. L. *Botânica.* Brasília, Seplan/CNPq, 1992. p. 37-67. (Avaliação e Perspectivas, 10.)

Narchi, W. *Sistemática e morfologia.* São Paulo, Aciesp, 1977. p. 23-42. (Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo, XII.)

Nogueira, E. *Botânica no Brasil. Descrição do quadro atual/linhas de ação.* Brasília, MCT/CNPq, 1987. 54p.

Perondini, A. L. P; Mourão, C. A.; Paterniani, E; Azevedo, J. L. & Frota-Pessoa, O. *Biociências. Genética.* São Paulo, Aciesp, 1977. 92p. (Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo, VIII.)

Pires O'Brian, M. J. An essay on the history of natural history in Brasil, 1500-1900. *Archives of Natural History.* 1993. p. 2.037-48.

Roitman, C.; Almeida, D. F.; Azevedo, E. E. de S. et alii. Estado actual y perspectivas de las ciencias biológicas en Brasil. In: Allende, J. E. (ed.). *La biología como instrumento de desarrollo para América Latina.* 1990. p. 69-87. (Anais do 1º Simpósio Relab.)

———. Informe sobre los recursos humanos en las ciencias biológicas en Brasil. In: Allende, J. E. (ed.). *Formación, retención y recuperación de recursos humanos en ciencias biológicas para América Latina: una estrategia para enfrentar la fuga de cerebros.* 1992. p. 57-64. (Anais do 2º Simpósio Relab.)

Solbrig, O. T. The roots of biodiversity crisis. *Biologia Internacional,* 1991.

Tundisi, J. G. *Ecologia aquática vegetal.* São Paulo, Aciesp, 1977. p. 25-41. (Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo, IX.)

Vanzolini, P. E. *Ecologia animal terrestre.* São Paulo, Aciesp, 1977. p. 85-93. (Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo, IX.)

———. *Zoologia.* Brasília, Seplan/CNPq, 1982. p. 235-345. (Avaliação e Perspectivas, 19.)

Anexo

Relação de siglas e abreviaturas

Aciesp	Academia de Ciências do Estado de São Paulo
Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
C&T	Ciência e Tecnologia
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FAPs	Fundações de Amparo à Pesquisa
Fapesp	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
Finep	Financiadora de Estudos e Projetos
Fiocruz	Fundação Oswaldo Cruz
FNDCT	Fundação Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBt/SP	Instituto de Botânica de São Paulo
IES	Instituição de Ensino Superior
Inpa	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
ISI	International Scientific Information
JB/RJ	Jardim Botânico do Rio de Janeiro
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MEC	Ministério da Educação e Cultura
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
Pibic	Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica
PIG	Programa Integrado de Genética
UA	Universidade do Amazonas
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

UFPr	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFV	Universidade Federal de Viçosa
Unesp	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Unicamp	Universidade de Campinas
USP	Universidade de São Paulo

Avaliação das ciências sociais

*Fábio Wanderley Reis**

1. Introdução

Este ensaio se compõe de três partes principais. A primeira procurará avaliar os méritos científicos da área das ciências sociais na atualidade brasileira. Na segunda se fará uma breve "sociologia das ciências sociais brasileiras", atenta para as condições do contexto social e institucional em que elas se desenvolvem e para o condicionamento que o contexto exerce sobre os aspectos positivos e negativos revelados pela avaliação. Da combinação das observações das duas primeiras partes se extrairão as recomendações a serem feitas na terceira.

2. Méritos científicos das ciências sociais

A área de ciências sociais no país é heterogênea. Ela não apenas inclui disciplinas diferentes e caracterizadas às vezes por perspectivas contrastantes, mas há nela também, mesmo dentro de determinada disciplina, centros e programas de ensino e pesquisa — sem falar de profissionais ou pesquisadores individuais — de qualidade desigual. A avaliação que se segue é um depoimento baseado na experiência e no ponto de vista pessoais do autor. Ela destaca sobretudo certos grandes traços que parecem importantes na caracterização do estado-da-arte na área, sem procurar mapear com precisão os matizes na ocorrência de tais traços.

Duas outras observações preliminares. A primeira é a de que, não obstante as diferenças na qualidade do trabalho desenvolvido em centros e programas diversos, as críticas que se fazem abaixo se aplicam também aos *melhores* centros e programas, que constituem mesmo a principal referência na avaliação dos problemas e carências da área. A outra observação é a de que o foco principal é aqui inequivocamente o da avaliação da *qualidade* da ciência social produzida. Esse foco contrasta não apenas com certas formas usuais em procedimentos estabelecidos de avaliação, nas quais o espinhoso problema da qualidade é escamoteado numa profusão de índices e relações quantitativas cuja ligação com aquele problema freqüentemente está longe de ser clara; ele contrasta também com certa maneira de entender mesmo o exame "qualitativo" de diferentes áreas, no qual, por exemplo, se descreve a estrutura dos programas de ensino ou

* Diretor do Instituto Brasileiro de Estudos Contemporâneos, de Belo Horizonte.

se listam disciplinas obrigatórias e optativas, sem que se chegue a dizer se o trabalho executado é bom ou ruim — e evitando-se especialmente a necessidade de dizer que o que quer que seja é ruim. Um exemplo se tem em relatórios produzidos recentemente pela Comissão de Pós-graduação da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ciências Sociais (Anpocs): tendo essa comissão se proposto explicitamente realizar um exame da área que fosse além dos indicadores quantitativos usados nas avaliações da Capes, o texto produzido evita cuidadosamente qualquer avaliação real (Anpocs, s.d.:28). Devido ao "corporativismo" ou a outras razões, críticas autênticas não são bem-vindas na cultura dominante das ciências sociais brasileiras da atualidade.

* * *

O objetivo de avaliação nos coloca fatalmente diante de questões relativas a concepções de teoria e método, indispensáveis para a estipulação dos padrões que guiarão a avaliação. As dificuldades que brotam daí têm a ver com o fato de que as ciências sociais tendem a caracterizar-se por intermináveis querelas a este respeito, nas quais se confrontam propostas teórico-metodológicas que se percebem como alternativas e mesmo como antagônicas. Seja qual for a intensidade do debate teórico-metodológico, porém, é claro que ele pode ser também mais ou menos sofisticado ou pobre, e o ponto crucial de uma adequada avaliação das ciências sociais brasileiras da atualidade consiste no reconhecimento da pobreza da formação teórico-metodológica que recebem correntemente nossos cientistas sociais. Certamente se observa no momento, entre nós, o arrefecimento do debate metodológico, e parte das razões se encontra no arrefecimento de certo tipo de luta político-ideológica que o alimentava tempos atrás; mas outra parte se deve ao fato de que nossos profissionais não chegam sequer a ser expostos de maneira apropriada a certos fundamentos teórico-metodológicos que em determinado momento puderam surgir como "ortodoxia" sujeita a contestações. E a relativa serenidade atual é antes expressão da indigência associada a um amorfismo metodologicamente desatento e desinformado.

Um ponto importante de inflexão no processo de desenvolvimento das ciências sociais no país foi a implantação da pós-graduação. Ela se deu num momento em que o panorama internacional das ciências sociais (especialmente a ciência política e a sociologia) se achava marcado pela afirmação recente, particularmente nos Estados Unidos, de certa perspectiva mais comprometida com o objetivo de constituir uma *ciência*, propriamente, da sociedade. No campo da sociologia, havia o recurso crescente a métodos quantitativos e rigorosos, o desenvolvimento das técnicas de *survey*, o empenho de estabelecer correspondência entre a reflexão teórica e o trabalho de pesquisa empírica e de buscar que ambos se fizessem de maneira tanto quanto possível sistemática e cumulativa. No campo da ciência política, as tradicionais abordagens de orientação filosófica e jurídica se viam vigorosamente desafiadas pelo movimento que se tornou conhecido como *behavioralism*, no qual se incorporam à disciplina muitos dos mesmos traços apontados na sociologia. No Brasil, inaugura-se então, como parte da movimentação que resulta na implantação da pós-graduação brasileira em ciências sociais, uma fase de intercâmbio internacional mais intenso, envolvendo o afluxo de numerosos estudantes a programas pós-graduados, primeiro na Faculdade Latino-Americana de Ciências Sociais (Flacso), mantida pela Unesco em Santiago do Chile desde a década de 50, e posteriormente em universidades européias e, especialmente, norte-americanas. A construção da pós-graduação brasileira incorpora inicialmente, assim, o impulso renovador e o empenho de apuro teórico e metodológico que se davam nos centros mais avançados.

É possível destacar dois centros brasileiros que melhor exemplificam essa tendência: o Departamento de Ciência Política da UFMG e o Instituto Universitário de Pesquisas do Rio de Janeiro (Iuperj), nos quais têm início, no período final da década de 60, programas de mestrado em ciência política e em sociologia que contaram com importante apoio da Fundação Ford. O perfil do treinamento neles dado aos estudantes destacava a familizarização com a produção teórica mais avançada desenvolvida nos Estados Unidos e, especialmente, a preocupação com a adequada exposição dos estudantes à metodologia analítica e quantitativa, com ênfase na coleta, tratamento e análise de dados de *survey*. O modelo de ciência social que aí se procurava colocar em prática era não apenas o de uma ciência caracterizada pelo rigor analítico e pela propensão à quantificação e talvez à formalização, mas também o de uma ciência de vocação decididamente teórica e nomológica, empenhada na obtenção de um conhecimento passível de ser formulado em termos genéricos e articulado em sistemas abstratos. No que se refere à maneira de conceber as relações entre as ciências sociais e as ciências exatas ou naturais, essa perspectiva sustenta que o método científico é inequivocamente aplicável ao campo dos fenômenos humanos e sociais. Ela se opõe claramente, assim, à idéia da contraposição inevitável entre "duas culturas", uma humanista e outra científica, e se coloca em favor da suposição de afinidade entre as ciências naturais e sociais quanto aos problemas básicos do *método*, tomada a expressão como dizendo respeito aos fundamentos lógicos da aceitação ou rejeição de hipóteses ou teorias. A contraposição entre as duas perspectivas ou "culturas" encontra certa correspondência com a contraposição entre *tipos* de disciplinas no interior da própria área das ciências sociais, o que tem conseqüências importantes para certos aspectos do diagnóstico do estado atual das ciências sociais brasileiras. Enquanto a sociologia e a ciência política, em correspondência com os movimentos de renovação assinalados, se encontram mais próximas do padrão "científico", caracterizado pelo apego ao rigor, à sistematicidade, à generalização e pelo menos à busca de cumulatividade, a antropologia e a história estariam em geral mais próximas do padrão "humanista" e "idiográfico" de trabalho, com a ênfase no qualitativo e no descritivo, a

valorização da dimensão temporal ou histórica dos fenômenos e de suas conseqüentes "peculiaridades", o relativismo, a confiança depositada na intuição e na "compreensão" etc.[1]

* * *

Apesar da dinâmica inicial da implantação da pós-graduação, que se ilustra com os casos do DCP/UFMG e do Iuperj, dificilmente se poderia pretender que a perspectiva "científica" tenha chegado a amadurecer efetivamente e a constituir-se em real ortodoxia no Brasil. Ao contrário, ela sofreu prontamente uma poderosa reação proveniente de pelo menos duas fontes. Uma diz respeito às resistências político-ideológicas indicadas acima. A perspectiva "científica" aparece aqui como comprometida com a direita política, o que se expressaria em seus vínculos com o *establishment* acadêmico dos Estados Unidos (com a ciência social "acadêmica", em contraposição à marxista) e no apoio recebido, no Brasil, da Fundação Ford, vista como agente do imperialismo norte-americano. A segunda fonte, que em alguma medida se mostra independente do enfrentamento político entre esquerda e direita, tem a ver com o apego de parcela importante dos cientistas sociais brasileiros à tradição humanista recém-mencionada.[2]

Um dos traços pelos quais a situação atual revela a precariedade da postura "científica" como suposta ortodoxia tem-se no que se pode observar quanto ao ensino de metodologia e técnicas de pesquisa nos programas de pós-graduação. Embora as listas de disciplinas ministradas como obrigatórias nos diferentes programas em geral incluam alguma disciplina de metodologia, os dois programas de maior visibilidade e prestígio nos campos da sociologia e da ciência política, isto é, o da Universidade de São Paulo (USP) e o do Iuperj, *não* têm incluído essa disciplina no currículo exigido dos estudantes. No caso dos programas da USP a situação é inequívoca, não tendo havido nunca a oferta regular de metodologia entendida como disciplina fundamental e obrigatória (dá-se, aliás, a curiosidade de que, ao contrário do que ocorre em outros programas, como os da Universidade Federal de Santa Catarina e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, "métodos" não constitui uma disciplina obrigatória na USP, tampouco no caso do programa de antropologia, onde supostamente ela teria uma feição especial)

[1] A caracterização do método "idiográfico", por contraste com o nomotético ou nomológico, é feita em Przeworski e Teune (1970). Note-se que a antropologia e a história são justamente as disciplinas onde tem maior espaço o trabalho de "mero" registro descritivo dos fatos: não há equivalente destacado, nos campos da sociologia e da ciência política, para a etno*grafia* e a historio*grafia* como tipos especiais de trabalho ou "postura".

[2] É interessante registrar que o Iuperj, um dos dois centros destacados por sua ligação com a perspectiva "científica", já em meados da década de 70 dava origem a um volume destinado a *reagir* contra importantes aspectos dela: Nunes (1978). Apesar de grandemente equivocado em seus postulados, esse volume veio a contar com a adesão receptiva de vários nomes que pareceriam filiados àquela perspectiva.

(Anpocs, s.d.). Quanto ao Iuperj, a situação é mais confusa e oscilante, com momentos de ênfase no treinamento metodológico e outros em que, por exemplo, talvez exista a exigência de metodologia em um dos programas (ciência política), mas não no outro (sociologia). É certo, contudo, que a ênfase em metodologia foi pequena, no Iuperj, no período recente, e a disciplina *não* vinha sendo oferecida com regularidade como obrigatória (Anpocs, s.d.:21). Se este é o quadro no que se refere aos dois programas que tendem a aparecer como mais "consolidados" nas avaliações internas da área (Anpocs, s.d., anexo 6), parece natural que, nos demais, o ensino e a aprendizagem de metodologia, mesmo se formalmente se trata de disciplina "obrigatória", sejam geralmente conduzidos de maneira ritualística e estéril.

O resultado geral é que a situação atual se caracteriza por *deficiências* importantes — avaliação esta que obviamente se faz com base na adesão aos supostos fundamentais da perspectiva aqui caracterizada como "científica". Entre tais deficiências ressalta a feição "historicizante" ou mesmo "jornalística" que tende a exibir o trabalho executado por nossos cientistas sociais (refiro-me a sociólogos e cientistas políticos; o problema do *status* da antropologia será considerado adiante).[3] Com efeito, o trabalho empírico dos cientistas sociais brasileiros dificilmente se pode distinguir, com freqüência, do trabalho que se suporia fosse próprio do historiador — exceto talvez pela precária qualidade (com as exceções que sempre existem) da historiografia produzida, já que falta aos nossos profissionais das ciências sociais o treinamento específico. Afora os trabalhos que se ocupam em narrar e reconstituir, em perspectiva diretamente historiográfica, fatos do passado mais ou menos remoto, torna-se freqüente uma espécie de "historiografia do presente", ou uma postura orientada pelo empenho de registro jornalístico dos eventos. A perspectiva generalizante, ou a preocupação de apreensão sistemática de regularidades que sejam capazes propriamente de *explicar* algum evento ou conjunto de eventos a qualquer título problemático, intrigante ou instigante (a definição dos problemas em termos *analíticos*), se vê aí substituída por uma orientação de pesquisa onde se define um "tema" recortado em termos concretos (como que um "pedaço" da realidade: o PSD, os militares no pós-64, a política social da Nova República...) e se procura levantar "tudo" o que diga respeito a tal tema. As perguntas que normalmente orientam tais trabalhos são do tipo *"o quê?"* ou *"como?"* ("o que aconteceu?" ou "como aconteceu?"), nunca do tipo *"por quê?"*, e o papel do pesquisador consiste em contar o que lhe contaram, ou o que leu em jornais velhos ou documentos de qualquer natureza. A freqüência de trabalhos cujos títulos contêm datas ou nomes próprios é expressiva da perspectiva: eles se referem seja a eventos específicos situados no tempo e no espaço, seja mesmo a entidades particulares (este ou aquele partido, por exemplo). Pretende-se que a apreensão da "especificidade" dos eventos ou das entida-

[3] Alguns dos parágrafos seguintes se valem, com várias reformulações, de Reis (1991).

des em questão é um componente importante ou mesmo decisivo do esforço que se desenvolve — mas não se tem em conta que o específico não é senão a contraface do genérico e que, portanto, apreender apropriadamente o específico supõe comparação e teoria.

Nos casos em que se trata de temas da atualidade ou do passado recente (de certa forma mais "jornalísticos" na inspiração, portanto), tal perspectiva tende a exibir a lógica da investigação detetivesca, onde se trata de desvendar o "oculto". Dois aspectos se podem assinalar em conexão com isso. Por um lado, especialmente no que diz respeito aos trabalhos de ciência política ou de sociologia política, tal lógica tende a associar-se, do ponto de vista substantivo, com uma visão conspiratória dos eventos e processos relevantes, e alguns dos casos de estudos de maior ressonância nessa ótica consistem em desvendar conspirações. Por outro lado, como a perspectiva geral em questão é analiticamente pobre, não é de admirar que a investigação jornalística ou detetivesca surja como o modelo a ser seguido: nele, o fundamental não é o enquadramento analítico adequado de determinado fenômeno ou o esclarecimento de seu caráter de caso ou instância de uma regularidade que pode ser apreendida como tal, mas antes o acesso à fonte privilegiada (o informante bem situado, muitas vezes secreto, que "conta tudo"...). A contrapartida é que, dada a pobreza analítica, o interesse da investigação desenvolvida depende inteiramente do interesse jornalístico ou detetivesco da "informação de cocheira" trazida.[4] Daí decorre que este modelo de pesquisa, quando executado por cientistas sociais, produza resultados menos interessantes do que os da investigação propriamente jornalística: enquanto o jornalista se dedica profissionalmente a cultivar as suas fontes e usualmente tem acesso a fontes privilegiadas de informação, o cientista social raramente conta com esse recurso. Claro, às vezes é possível utilizar arquivos ou materiais até então desconhecidos ou inacessíveis, e, naturalmente, há conspirações efetivas cuja explicação adequada interessa a uma ciência social genuína.

Problemas semelhantes surgem em certa vertente mais "antropológica" do que propriamente historiográfica ou jornalística na inspiração. Trata-se aqui não de desvendar a "mão oculta", como no caso mais exemplar da vertente anterior, mas antes de registrar "os fatos mesmos" em toda a sua riqueza imediata: em particular, de recolher a riqueza do "cotidiano", tal como ele se apresenta à observação desarmada e acrítica do participante. Em vez da "mão oculta", seria possível dizer que, em muitos casos, aqui se trata de apontar a "mão invisível", havendo a inclinação a avaliar positivamente o jogo cego e "dado" dos mecanismos sociais.[5] Um aspecto correlato é que, enquanto a vertente jornalística tende a privilegiar os atores de elite — é a elite que conspira e age como sinistra mão oculta —, a vertente "antropológica" valoriza antes o plano do popular, e certa sensibilidade para a "sabedoria popular" é um traço freqüentemente revelado (e reivindicado) pelos trabalhos desse tipo. Daí o recurso às longas transcrições de depoimentos em estado bruto de mulheres da periferia urbana ou seja qual for a categoria que se esteja estudando...[6]

* * *

Naturalmente, os rótulos utilizados (feição "historicizante" ou "jornalística", vertente "antropológica") para caracterizar a prática de muito da sociologia e da ciência política brasileiras suscitam a questão de como a avaliação das ciências

---

[4] Como comentou Luiz Felipe de Alencastro em debate sobre o assunto ocorrido no 14º Encontro Anual da Anpocs (Caxambu, MG, 22-26 out. 1990), o estudioso tende a deixar-se "engolir" pela fonte, abdicando em favor dela.

[5] A distinção entre modelos explicativos de tipo "mão invisível" e "mão oculta" é elaborada em Nozick (1974).

[6] Indicadores bastante expressivos da situação descrita nos últimos parágrafos se têm com os projetos que solicitam financiamentos aos comitês especiais mantidos pela Anpocs e com os trabalhos apresentados aos concursos, também patrocinados pela Anpocs, que visam escolher e premiar anualmente as melhores obras científicas e teses universitárias na área de ciências sociais. Quanto ao financiamento de projetos, a Anpocs mantém dois comitês, cujos recursos provêm da Fundação Ford, num caso, e da Fundação Inter-Americana, no outro. Este último comitê se destina explicitamente a financiar pesquisas sobre "processos de participação popular" no Nordeste e Norte do país, o que provavelmente tem influência importante sobre o fato de que a enorme maioria dos estudos financiados ou é diretamente constituída de projetos antropológicos, ou compartilha certa perspectiva etnológica ou etnográfica (ver, por exemplo, Anpocs, s.d., anexo 6). Mas se tomamos os projetos submetidos ao Comitê Ford/Anpocs, onde não há tal restrição, a situação não se mostra diferente senão no sentido de que os projetos especificamente antropológicos se vêem complementados por projetos "historiográficos" destinados a levantar e explorar temas definidos "concretamente" e às vezes situados por datas precisas. No concurso Ford/Anpocs de 1991, por exemplo, não menos de 70% dos projetos aprovados se caracterizam, a julgar por seus títulos, como antropológicos ou "historiográficos" no sentido indicado, ostentando títulos como A campanha das Diretas-Já, O Departamento Nacional da Criança no Estado Novo, O papel das elites políticas na construção dos projetos políticos uruguaio e rio-grandense, 1890-1930, Cosmologia e sociedade Mura-Pirahã na Amazônia meridional, Um estudo sobre trabalhadores têxteis de Belém, Um caso de lingüística missionária, Uma interpretação simbólica do espaço funerário de São Paulo, Um estudo sobre a etno-história Matsés (1870-1990), Avá-Canoeiro: a história de um povo invisível, Os filhos do Araguaia: uma proposta de estudo etnográfico marajá, Retorno às práticas terapêuticas simbólico-religiosas: o caso de Lumiar, RJ etc. (idem).

Quanto às teses premiadas, se tomamos os resultados correspondentes aos anos de 1990 e 1991 (sexto e sétimo concursos), que constam do último relatório de gestão disponível (período 1990-92), verificamos que nada menos de cinco de um total de sete teses de doutorado ou mestrado que receberam prêmios ou menções honrosas são ou diretamente teses de antropologia ou teses que correspondem claramente ao modelo "antropológico". Seus títulos: Comendo como gente: formas de canibalismo wari (pakka nova), Fairness and communication in small claim courts (doutorado em antropologia), A representação camponesa sobre a formação do lago do Sobradinho, Uma etnografia da primeira gestão do PT em Diadema, O que faz ser nordestino: a questão das identidades sociais e o jogo de reconhecimento no caso Erundina.

Merece menção, como contra-exemplo, a jóia rara representada pela tese de doutorado de Ricardo Abramovay, De camponeses a agricultores: paradigmas do capitalismo agrário em questão, um trabalho intelectualmente atrevido, analiticamente tenso e ambicioso, que se coloca perguntas importantes e trata de respondê-las envolvendo-se em debate real com vasta literatura e em perspectiva transnacional.

sociais no Brasil da atualidade deve lidar com a história e a antropologia como disciplinas. Em alguma medida, tal questão se aplica a várias outras áreas adjacentes que têm composto, por exemplo, os heterogêneos comitês assessores do CNPq: o próprio jornalismo, direito, serviço social etc. No caso dessas áreas adjacentes, porém, não existe o reclamo de pertencerem de fato ao quadro das ciências sociais propriamente, ou a tradição de serem vistas como integrantes reais desse quadro, o que se dá no caso da antropologia e, talvez mais equivocadamente, no da história. Já se assinalou anteriormente que essas duas disciplinas podem ser vistas como estando mais próximas da tradição ou "cultura" humanística, por contraste com a "cultura" científica. Na qualidade de cientista político (ou de sociólogo da política, pois entendo que as afinidades entre sociologia e ciência política são de molde a fazer desta um ramo daquela), não me sinto inteiramente à vontade para examinar em profundidade a questão, sobretudo tendo em conta que ocorrem divergências importantes a respeito mesmo entre os profissionais da antropologia e da história. No caso da história, é conhecido o contraste entre a inclinação mais extremadamente historio*gráfica* da *histoire événementielle*, por um lado, que buscaria despojadamente o registro dos acontecimentos históricos, e, por outro, a posição que busca uma *explicação* histórica entendida como devendo ser necessariamente generalizante e, portanto, sociológica.[7] No caso da antropologia, as discordâncias internas a respeito se ilustram com as posições divergentes manifestadas por diferentes antropólogos brasileiros em reuniões científicas recentes no país.[8]

Não tentarei dizer o que a antropologia ou a história *deveria* ser ou fazer. Na ótica de uma necessária divisão do trabalho no esforço de produção de conhecimento sobre os fenômenos sociais e históricos, há lugar, sem dúvida, para o trabalho de levantamento mais descritivo da "matéria-prima", por assim dizer, trabalho este que poderia ser visto como competindo a uma historiografia ou etnografia e, eventualmente, a ramos correspondentes da sociologia ou de outras ciências sociais consagradas, como a própria economia. Contudo, sejam quais forem as prescrições adequadas a respeito, parece-me claro que, de longe, a maior parte do trabalho que se executa no país sob o rótulo de antropologia está decididamente orientada por um modelo "idiográfico", e não generalizante, de atividade científica, preocupando-se os autores em obter uma espécie de "imersão compreensiva" nas "peculiaridades" de cada objeto de estudo antes do que em apreendê-lo propriamente como caso ou instância de alguma regularidade mais ampla com a qual se imporia articulá-lo para dar conta adequadamente dele.

[7] Para um exemplo dessa posição sociologizante, ver Veyne (1976).

[8] Um exemplo são as discussões ocorridas na mesa-redonda Teoria e método e as ciências sociais brasileiras da atualidade, no 14º Encontro Anual da Anpocs (Caxambu, MG, 22-26 out. 1990), onde Mariza Peirano e alguns de seus colegas antropólogos sustentaram posições antagônicas quanto à questão do caráter generalizante ou nomológico da disciplina. Para as idéias de Mariza Peirano a respeito, ver Peirano (1991).

Nesse sentido, a prática antropológica brasileira mais corrente deixa de ajustar-se ao modelo de trabalho que aqui se propõe como referência — e deve, portanto, ser vista como apresentando as deficiências correspondentes. Isso não significa necessariamente, é claro, que o padrão de trabalho antropológico (em particular o que se encontra no Brasil) seja o produto de especialistas individuais menos competentes do que os de outros campos. Mas, sim, parece possível dizer que, na empreitada coletiva das ciências sociais, os recursos exigidos para a realização plena do modelo mais estritamente "científico" de trabalho são, tudo somado, superiores aos que se fazem necessários para a realização do padrão "compreensivo-descritivo" da etnografia e historiografia, que entendo ser analiticamente menos exigente.

Algumas conseqüências decorrem dessa perspectiva. Uma delas é que a penetração e a expansão recentes da antropologia no país — com o resultado de que essa disciplina tenha se transformado provavelmente na mais "popular" das ciências sociais e tenda a estar super-representada nas arenas diversas em que se tomam decisões sobre as ciências sociais — são possivelmente a conseqüência de certa banalização e deterioração do campo geral das ciências sociais (que se expressa também na tendência à "historicização" ou "antropologização" da própria sociologia ou ciência política, a ser retomada em seguida).[9] Daí que aparentemente se justifique supor que cursos de graduação mais bem montados e executados, em que estudantes de boa qualidade intelectual recebessem adequada introdução aos fundamentos teóricos e metodológicos das ciências sociais em geral, viriam a exibir maiores fluxos de estudantes qualificados para a sociologia e a ciência política, como áreas inequivocamente voltadas para a pesquisa generalizante e teoricamente ambiciosa, e a restringir correspondentemente o "mercado" antropológico.

* * *

Um aspecto especial da perspectiva esboçada a respeito da posição relativa das disciplinas "descritivo-compreensivas" merece destaque. Essa perspectiva permite sustentar com clareza que a tendência do trabalho executado na sociologia e na ciência política brasileiras a derivar na direção de um arremedo dos padrões de atividade próprios de outros campos (historiografia, jornalismo, antropologia) não tem condições de defender-se como opção metodológica deliberada e lúcida, mas se deve antes a carências do treinamento na pesquisa siste-

[9] Talvez seja uma manifestação adicional dessa banalização certa tendência francamente autocongratulatória que substitui, no caso da antropologia, a resistência a ser mais abertamente crítico que encontramos nos outros campos. Tal tendência é famosa no âmbito da Anpocs, dada a freqüência do auto-elogio dos antropólogos em suas reuniões, e tem um exemplo recente em Sigaud (Anpocs, s.d.:31). "(...) a antropologia 'vai bem' e apresenta muitas potencialidades e condições de desenvolvimento".

mática, generalizante e teoricamente orientada. Não só nossos profissionais de sociologia e ciência política não chegam a dominar apropriadamente o instrumental técnico da pesquisa guiada por preocupações generalizantes, como também isso está com freqüência associado a uma deficiência mais básica: eles muitas vezes carecem de domínio adequado da simples lógica, sem mais. Donde a tendência de se voltarem para a narrativa ou o relato, em contraste com um padrão logicamente mais exigente de estruturação analítica.

Que fazer a respeito? Por certo, seria possível considerar a possibilidade de se estimular o estudo da própria lógica como disciplina especial, e talvez a inclusão de cursos que dela se ocupem no currículo dos programas. Quaisquer que fossem os ganhos dessa estratégia de outros pontos de vista, ela é claramente de eficiência duvidosa para o objetivo de aprimorar a acuidade de nossos cientistas sociais: a aquisição e o apuro da capacidade de raciocínio lógico estão longe de ser equivalentes, naturalmente, à obtenção de qualificação como especialista em lógica, sendo antes uma *condição* desta, como de muitas outras coisas no campo da atividade científica. Mas caberia certamente esperar o aprimoramento em questão como resultado de certo tipo de *prática* adequada. Nesse sentido, parece especialmente lamentável o abandono corrente da ênfase no treinamento em técnicas de pesquisa e análise de dados de *survey*, como parte do abandono, em geral, da ênfase no estudo de metodologia e técnicas de pesquisa, pois a familiarização com a lógica da análise multivariacional que o estudo dos problemas da análise de *surveys* propicia é um instrumento extremamente útil de treinamento lógico *tout court*, à parte o que representa de assimilação de uma técnica específica. Sem falar do que ela representa também como forma de sensibilizar o estudante para a importância da teoria e de *treiná-lo* para o raciocínio teórico em que se articulam múltiplas dimensões analiticamente relevantes, o que é o cerne mesmo da idéia envolvida nas técnicas de análise multivariacional.

O que aí se insinua quanto ao caráter eminentemente instrumental da teoria e seu acoplamento necessário com os problemas *metodológicos* que a análise enfrenta permite tocar em outra face das deficiências das ciências sociais brasileiras da atualidade: o ensino de teoria, que também deixa muito a desejar. As deficiências neste aspecto são certamente responsáveis pela aparência de algo "etéreo", negativamente "abstrato" e descolado da realidade que a dimensão teórica da atividade do cientista social muitas vezes adquire aos olhos de profissionais supostamente de maior sentido empírico, como o historiador. Esse "descolamento" se manifesta tradicionalmente, por exemplo, na feição ritualística e desligada das cogitações empíricas do pesquisador que freqüentemente aparece na famosa seção correspondente ao "marco teórico" dos projetos de pesquisa.

Mas há uma face nova do ritualismo quanto à teoria. O ensino de teoria em nossos centros de pós-graduação tem manifestado a tendência a reproduzir o estilo de certa tradição de "teoria política" que já mereceu o sarcasmo de autores como Brian Barry e Robert Dahl: o estilo do comentário erudito perenemente renovado dos clássicos do pensamento sociológico e, especialmente, da longa

tradição ocidental de pensamento político. Esse estilo está sempre pronto a remontar à Antiguidade grega e latina e aos séculos XVI e XVII do ocidente europeu (ou, no caso da sociologia, aos grandes pensadores do século XIX e começo do século XX) a propósito de qualquer problema — inclinando-se, em alguma medida, a satisfazer-se com isso.[10] Naturalmente, é supérfluo reiterar a necessidade de estudar Platão, Maquiavel, Hobbes, Marx, Weber... Mas é indispensável reconhecer que, precisamente pela importância da contribuição desses pensadores, suas idéias integram o acervo de que presentemente se *parte*, e que as análises contemporâneas dos problemas substantivos a que se dirigem não podem senão beneficiar-se da longa elaboração a que tais idéias *já* foram submetidas (o que, por certo, pode se aplicar mais a alguns deles do que a outros). Afinal, o número de pessoas vivas dedicadas a refletir sobre a sociedade e a política é provavelmente maior do que o das que se dedicaram a essa tarefa ao longo dos séculos. Ainda que se reserve amplo espaço para a possível mediocridade dos contemporâneos, a presunção tem forçosamente de ser favorável, em termos das *ênfases* relativas, à produção teórica moderna.

Como sugerido, a deficiência correspondente ao ritualismo erudito tem impacto diferente nas diversas disciplinas. Ela seguramente ocorre com maior intensidade no campo da ciência política, onde corresponde a uma tradição mais forte e de raízes mais remotas.[11] Mas as situações a este respeito diferem também entre os diversos centros ou programas de ensino da área de ciências sociais. Se consideramos de novo os casos do Iuperj e da USP, por sua condição de programas de maior prestígio, provavelmente o Iuperj apresenta em maior medida, no ensino de teoria (especialmente teoria política), a característica do comentário erudito e ritualístico, dada a presença em seu corpo docente de certo núcleo de profissionais de propensão filosofante. Se a situação na pós-graduação da USP é distinta, não se pode estar seguro de que as diferenças sejam para melhor. Pois as observações disponíveis quanto à bibliografia utilizada nos diversos cursos ministrados, especialmente no setor de ciência política,[12] indicam que o volume de leituras exigidas é comparativamente reduzido e, sobretudo, que há pouco recurso à bibliografia estrangeira recente ou corrente — especialmente a litera-

[10] "No mundo de língua inglesa (...) a teoria política está morta. (...) No Ocidente, esta é a era da crítica textual e da análise histórica, quando o estudante de teoria política abre caminho pela redescoberta de algum texto merecidamente esquecido ou a reinterpretação de textos familiares" (Robert Dahl, apud Barry, 1980). Observe-se que com este estilo tende a estar associada a figura, a meu ver negativa, do "especialista em teoria".

[11] Além disso, parece possível dizer que o sociólogo contemporâneo tem melhores razões para seguir tomando os clássicos da sociologia como interlocutores do que seria o caso para o cientista político relativamente aos clássicos antigos ou do início da época moderna. Já o caso da antropologia parece, de novo, especial. A leitura e a "ruminação" dos clássicos costumam ser aí parte substancial da maneira em que se entende o próprio treinamento metodológico, havendo uma espécie de valorização explícita do "ritualismo".

[12] Ver Capes (1992).

tura publicada nos Estados Unidos, onde se produz de longe a maior parte do material relevante — e igualmente pouco recurso ao material publicado em revistas especializadas (não apenas estrangeiras, mas mesmo brasileiras), material este que tende a ser onde primeiro aparecem, naturalmente, as questões de fronteira das disciplinas.

Tais deficiências no treinamento teórico-metodológico podem ser ilustradas em suas conseqüências com duas experiências recentes do autor em relação aos centros em questão (USP e Iuperj). No caso da USP, trata-se de algo ocorrido durante as atividades desenvolvidas pela comissão verificadora constituída pela Capes em 1992 (que o autor integrava juntamente com Olavo Brasil de Lima Júnior) para o recredenciamento dos programas de pós-graduação em ciência política. Em contato mantido, durante visita ao programa ocorrida em junho de 1992, com um grupo de doutorandos sobre as pesquisas em que vinham trabalhando (em um dos casos desde nove anos atrás!) para a elaboração de suas teses, *nenhum* deles foi capaz de ir além da perplexidade ao ser perguntado de que maneira seu trabalho diferia do que um jornalista provavelmente faria sobre o mesmo tema. Ou seja: os *doutorandos* em ciência política da mais importante universidade brasileira, ao cabo de anos de treinamento profissional, não têm idéia, a julgar por essa experiência, do que haverá de distintivo na atividade profissional que abraçaram...[13]

A outra experiência, relativa ao Iuperj, corresponde a observações feitas por ocasião da participação do autor em banca de exame de tese de doutorado em ciência política naquela instituição, ocorrida também em 1992. Configurou-se uma situação em certo sentido exemplar, por diversos aspectos, com relação aos problemas que aqui nos interessam:

• Tratava-se de estudante obviamente muito bem dotada intelectualmente, justificando inicialmente, portanto, a aposta de que viria a ter desempenho excelente nas atividades do programa.

• Apesar de ter seu *background* em comunicação, a estudante em questão não apenas concluíra, naturalmente, toda a parte de cursos e créditos para o doutorado no Iuperj, mas cursara também anteriormente o mestrado em ciência política no Departamento de Ciência Política da UFMG, o que torna seu caso tanto mais significativo.

[13] A inequívoca pobreza que aí se revela fornece um bom contra-argumento perante a objeção de que aqui se estaria favorecendo uma perspectiva metodológica particular, quando supostamente existem outras pelo menos igualmente meritórias. Sem dúvida, é legítimo esperar, nas condições gerais dos debates teórico-metodológicos nas ciências sociais contemporâneas, que os estudantes cheguem eventualmente a sustentar madura e sofisticadamente, em algum ponto de suas carreiras, posições metodológicas diversas. Mas isso nada tem a ver com a indigência de que aqui se trata, da qual *não* cabe esperar tal resultado.

• A tese em exame consistia num grande esforço por colocar em prática um modelo rigoroso de trabalho, recorrendo com ousadia a um argumento analítica e teoricamente ambicioso para tentar fundar o diagnóstico sofisticado de certos aspectos da problemática política brasileira da atualidade e tratando de testar tal diagnóstico através do processamento sistemático de dados empíricos de natureza quantitativa. O trabalho envolvido, portanto, se expunha a riscos importantes, em correspondência com as dificuldades e exigências do modelo que procurava seguir.

• Finalmente, a dissertação, como produto final, era também muito problemática no que se refere à *realização* efetiva do modelo de trabalho, e o resultado geral foi o de que a estudante em questão tivesse de enfrentar sérias dúvidas com respeito à própria aprovação da tese, com grande constrangimento pessoal.

Importa ressaltar dois aspectos neste caso exemplar: primeiro, o fato de que se tratava de um trabalho que (pelos desafios enfrentados, os recursos intelectuais mobilizados e o esforço analítico envolvido) era patentemente superior aos relatos mais ou menos singelos ou aos ralos padrões "historiográficos" não apenas das teses que se aprovam sem maiores problemas em nossos programas de pós-graduação, mas também dos trabalhos que costumam ter boa acolhida e notas altas mesmo em concursos correspondentes a fases bem mais avançadas da carreira acadêmica de nossos cientistas sociais; segundo, o fato de que a razão evidente para as deficiências constatadas na tentativa de colocar em prática um modelo exigente de trabalho era a de que a autora, depois de ter cursado com êxito o mestrado e o doutorado em dois programas de ciência política tidos como bons (ambos têm presentemente conceito A na avaliação da Capes, assim como se dá com o programa da USP), simplesmente nunca aprendera a canônica básica que buscava realizar intuitivamente (e em função quase exclusivamente de seus próprios méritos pessoais, que a levaram a não se satisfazer com a pobreza intelectual do estilo de trabalho que se lhe oferecia como alternativa).

* * *

Um aspecto de grande importância que se articula com o ritualismo perante a teoria e com a falta de ligação dela com os problemas reais deparados no trabalho de pesquisa e suas exigências metodológicas tem a ver com a inserção internacional das ciências sociais brasileiras. O traço mais óbvio aqui é a difusa noção tácita de que o trabalho de elaboração teórica é algo reservado aos cientistas sociais dos países desenvolvidos. A contrapartida inevitável é a dependência intelectual da ciência social produzida pelos especialistas nacionais, cuja participação nos grandes debates teórico-metodológicos internacionais não se dá senão de maneira reflexa e na qualidade de público espectador ou consumidor, tendendo a assumir a forma de modismos que vêm e vão, já que o processamento e a eventual incorporação desta ou daquela "novidade" não estão condicionados por

uma reflexão nacional própria de suficiente densidade e sofisticação. Isso se ajusta bastante bem, por outro lado, a certo padrão de colaboração internacional estratificada ou hierarquizada, no qual as expectativas de parte a parte (tanto as dos especialistas "centrais" quanto as nossas mesmas) acabam sendo a de que sejamos os fornecedores de "matéria-prima" brasileira para as elaborações de grande alcance a serem feitas pelos cientistas sociais dos países desenvolvidos.[14]

Naturalmente, não se trata aqui de estimular um "nacionalismo" sócio-científico à maneira, por exemplo, de certas propostas nascidas do Instituto Superior de Estudos Brasileiros (Iseb) décadas atrás. É claro que não vamos ter ciência social de boa qualidade senão na medida em que ela esteja aberta à produção e aos debates internacionais. Mas uma série de traços negativos se associam à postura provinciana apontada, com conseqüências intelectualmente esterilizantes.

Acima de tudo, o provincianismo e a subordinação intelectual com freqüência formam certa liga especial com a imagem, de que se falou acima, da teoria como algo "etéreo", impropriamente "abstrato" ou "literário" e, em última análise, supérfluo: já que a reflexão teórica "verdadeira" é a que realizam europeus e americanos, passa-se a ter um critério crucial de *relevância* da produção sócio-científica desenvolvida no país no fato de que ela esteja diretamente referida à "realidade", que é, antes de mais nada, a realidade brasileira, naturalmente. Nessa ótica, boa ciência social é aquela que, com alguma reverência aos modelos ou abordagens "quentes" do momento, se dirige a problemas empíricos e práticos prementes, os quais vêm a ser os problemas *socialmente* relevantes na sociedade em que vivemos. Omite-se, assim, a ponderação crucial de que não saberemos sequer definir com propriedade nossos problemas empíricos e práticos se não tivermos condições de refletir com sofisticação adequada a respeito deles, vale dizer, se não formos *teoricamente* sofisticados. E o critério antiteórico de relevância resulta numa contextualização prematura e torta do objeto de estudo, na qual o Brasil se torna o horizonte insuperável da reflexão e das atividades de pesquisa desenvolvidas.

Uma variante algo peculiar e muito comum das posturas associadas com o provincianismo em questão se mostra como uma espécie de reverso da medalha em relação à que se acaba de descrever, embora os resultados no plano intelectual sejam semelhantes. Ao invés da reverência diante da produção dos cientistas sociais dos países desenvolvidos, o que se tem aqui é propriamente um nacionalismo mais afirmativo: a ciência social internacional e os modelos, análises e teorias por ela elaborados (salvo certos casos especiais, como, por exemplo, alguma corrente marxista com que o pesquisador se identifique) são desqualificados liminarmente como irrelevantes, dadas as "peculiaridades" ou "especificidades" brasileiras (ou talvez latino-americanas...), tudo redundando, de maneira confusa e pouco explícita, em recomendar o esforço de apreensão de nossa realidade em termos que se aproximam do formato "idiográfico" de trabalho anteriormente citado.[15] Naturalmente, tal variante teria dificuldade para explicar, de forma consistente com a desqualificação mencionada, como sabe que somos peculiares, ou como chega a separar o que nos é específico daquilo que, presumivelmente, compartilhamos com outros povos.

Ao nacionalismo provinciano da referência eterna e imediatista ao Brasil, portanto, é possível contrapor a idéia de uma afirmação teórico-metodológica de nossa ciência social, que tem como condição indispensável a de ser intelectualmente cosmopolita e aberta. Em tal postura cosmopolita, contudo, muito mais importante do que o fato de que estaremos lendo o que se produz internacionalmente (coisa que, afinal, fazemos bastante avidamente em nosso provincianismo dependente) é o fato de que, de horizonte e *contexto* insuperável de enquadramento de nossa reflexão, o Brasil se tornará para nós propriamente um *caso*. Com toda a inevitável importância prática de que se reveste para nós e impondo-se, como conseqüência, à nossa atenção, o caso a que corresponde o Brasil não poderá constituir-se como tal e ser apreendido mesmo em sua especificidade e singularidade senão através de uma atividade que é necessariamente teórica, generalizante ou nomológica, analiticamente requintada, comparativa... Em vez de "narrar" singelamente o Brasil, ou a multiplicidade infinita de aspectos da vida brasileira, e de erigir no trabalho correspondente a indigência analítica em virtude, o desafio consiste, por assim dizer, em transformar, nas diferentes áreas de problemas, nosso fatal "contexto" brasileiro em variável, ou seja, em explicitar as dimensões analíticas cuja articulação permitiria, no limite, dar conta de maneira parcimoniosa tanto daquilo que o configura como um caso particular quanto de outros casos que dele se apartam por alguns aspectos e se aproximam por outros.[16]

De novo, as especificidades acima apontadas na história e, sobretudo, na antropologia, com a ênfase no esforço descritivo e a busca sempre renovada das "peculiaridades",[17] levam à indagação de se não haveria particularidades tam-

[14] Esse padrão, aliás, se vê reproduzido mesmo no país. Na fórmula em que alguém o sintetizou numa reunião — francesa... — em que procurei descrever suas faces interna e externa, "Paris pensa o mundo, São Paulo pensa o Brasil, Recife pensa o Nordeste".

[15] Um exemplo destacado dessa perspectiva se tem com o trabalho influente de Weffort (1978) e com a crítica que aí se encontra — claramente inconsistente, dado o desenvolvimento subseqüente do argumento do próprio autor — às teorias da modernização e da mobilização social (ver especialmente p. 128 e seguintes e 136).

[16] Przeworski e Teune (1970) fornecem provavelmente a mais lúcida discussão sistemática do problema geral aí envolvido, apesar de já velha de mais de 20 anos.

[17] Alguém formulou, há anos, essa disposição da antropologia em termos de um "princípio", o "princípio de Pago-Pago", segundo o qual "lá em Pago-Pago é diferente". Pode-se pretender associar um traço adicional à perspectiva antropológica: ela daria expressão especial a certa tendência mais difundida a contrastar um padrão ocidental e supostamente racional de comportamento a formas de comportamento não-ocidentais e não-racionais, ou talvez a formas de racionalidade distintas das do racionalismo "instrumental" do Ocidente.

bém na inserção internacional da antropologia e da historiografia brasileiras, em confronto com o que se observa a respeito na sociologia e na ciência política. Tomando a antropologia, a questão que se introduz é a de saber se os traços indicados caracterizam não a antropologia brasileira, mas a antropologia como tal. Pois, se assim for, então essa disciplina aparecerá no próprio plano internacional como uma espécie de parente menos exigente e difícil das outras ciências sociais, com a conseqüência de que se tornará mais fácil para a antropologia brasileira do que para a sociologia e a ciência política ombrear com os melhores padrões de suas congêneres internacionais. Dado o peso da perspectiva descritivo-etnográfica no campo da antropologia, teríamos certo "nivelamento" internacional das práticas e se tornaria mais natural que se estabelecessem relações "paritárias" entre os especialistas do Primeiro e do Terceiro Mundo.[18] Em contraste, nos campos da sociologia e da ciência política, onde a desigualdade de recursos acadêmicos de toda ordem faz que a vocação teórica e generalizante possa ser mais bem cumprida pelos especialistas do Primeiro Mundo, teríamos a tendência mais marcada a certa estratificação — na qual, como sugerido, os profissionais do Terceiro Mundo aparecem com freqüência como os fornecedores de "matéria-prima" para os especialistas "centrais".

Naturalmente, se os padrões de relacionamento internacional são efetivamente afetados por fatores como o que se acaba de indicar, temos um acúmulo especialmente perverso de circunstâncias conspirando contra o enraizamento de uma forma de trabalho analiticamente exigente e teoricamente ambiciosa na ciência social dos países subdesenvolvidos. Pois mesmo o reconhecimento internacional (embora segundo padrões estratificados) se torna mais fácil com o abandono das pretensões correspondentes a essa forma de trabalho, vista como prerrogativa dos cientistas sociais "centrais", ou como merecendo presunção em geral negativa quando executada por cientistas sociais dos países subdesenvolvidos. Assim, um sociólogo ou cientista político brasileiro terá boas chances de ter trabalhos seus aceitos para publicação na *Latin American Research Review* ou em *Problèmes d'Amérique Latine*, publicações nas quais supostamente se trata, por definição, de problemas "concretos" da região latino-americana; mas certamente terá dificuldades se tentar publicar nos *Archives Européennes de Sociologie* ou na *American Political Science Review* — e o que aqui se sugere é que tais dificuldades serão provavelmente maiores, por motivos de certa forma espúrios, do que as

[18] Assim, se é o caso de aplicar o "princípio de Pago-Pago" ao Brasil e de mostrar como este ou aquele aspecto da vida brasileira diverge de um suposto padrão ocidental e racional, não há maiores razões para presumir que o especialista originário dos países ocidentais desenvolvidos esteja em melhores condições para a tarefa do que o especialista brasileiro, havendo clara simetria no que se refere à imersão e ao distanciamento de cada um relativamente aos diferentes contextos que se estariam confrontando. Vale a pena registrar que, pelo menos nos trabalhos de Mariza Peirano (que se tem dedicado a estudar a antropologia indiana, por exemplo), a antropologia brasileira tem sabido escapar das limitações etnocêntricas que esta discussão sugere.

encontradas pelos antropólogos brasileiros para publicação em periódicos de prestígio correspondente na área da antropologia. Uma ramificação especial da questão é a da qualidade do trabalho executado pelos *area specialists* ou *country specialists* dos próprios países desenvolvidos em comparação com os demais profissionais de ciências sociais daqueles países, e, conseqüentemente, a do *status* de que lá desfrutam no sistema social das ciências sociais: trata-se claramente, em muitos casos, de profissionais de segunda categoria (não obstante o prestígio de que costumam gozar em seu país-tema, como certamente se dá no Brasil). Seja o que for que aconteça quanto a este último aspecto, porém, provavelmente temos aqui certas articulações entre diversas facetas da questão geral nas quais se criam "nichos" ou "redes" especiais de interação e comunicação internacional paritárias que servem de proteção contra a competição mais dura em que se acha envolvida a maioria dos praticantes da sociologia e da ciência política.[19]

3. Breve "sociologia das ciências sociais brasileiras"

A avaliação feita na seção anterior deste ensaio envolve nitidamente certa recomendação básica, que diz respeito à qualidade do treinamento a ser dado aos profissionais de ciências sociais no país. Mas é realista essa recomendação? Quais são as condições do contexto em que operam os profissionais brasileiros?

Não vou me deter nas conexões bem óbvias que a prolongada crise econômica vivida recentemente pelo país teve sobre o trabalho acadêmico e as condições gerais da atividade científica, afetando também, naturalmente, as ciências sociais. Mas nosso contexto político, em particular as experiências recentes de autoritarismo e democratização, tem certas conseqüências menos óbvias e que são provavelmente mais específicas da área de ciências sociais.

Um primeiro aspecto é que, dentre os diversos campos científicos ou acadêmicos, as ciências sociais são, pela natureza mesma dos problemas de que se ocupam, especialmente propensas a se mostrarem sensíveis a transformações políticas como aquelas por que temos passado recentemente. Algumas formas pelas quais elas se vêem afetadas, e que não podem deixar de ter relevância para a qualidade da ciência social produzida, são:

- O caráter mais ou menos estimulante ou repressivo do regime político em relação aos estudos próprios da área, que são, com freqüência, politicamente delicados. Uma observação saliente a respeito é o caráter equívoco das disposições

[19] Apesar de destacar no texto o caso da antropologia, claramente mais "central" do ponto de vista da definição academicamente dominante da área das ciências sociais (a Anpocs, por exemplo, reúne somente os programas de sociologia, ciência política e antropologia), creio que o que se diz sobre este ponto se aplica, com matizes, ao caso da história.

manifestadas pelo regime autoritário recente com relação às ciências sociais brasileiras: se, por um lado, houve aposentadorias forçadas, "cassações brancas" e restrições às atividades de certas figuras mais notórias, por outro o regime não só se mostrou grandemente indiferente ao que era ensinado e lido nos cursos de ciências sociais, como também permitiu que houvesse amplo apoio governamental à implantação e consolidação dos diferentes programas de pós-graduação. Outro aspecto equívoco é que a vigência do regime autoritário produziu, de maneira talvez perversa, um ambiente propício às ciências sociais, não só trazendo certo sentido de urgência e relevância a muitas das atividades de pesquisa e reflexão acadêmicas de alguma forma a ele referidas, mas também favorecendo a convergência e a efervescência intelectual nos restritos espaços de debate que os centros dedicados às ciências sociais vieram a representar.

• Certa afinidade da orientação vocacional que leva as pessoas a se encaminharem ao trabalho acadêmico nas ciências sociais com determinados aspectos da atividade política e da administração pública. Dessa afinidade resulta que os profissionais da área de ciências sociais se mostrem especialmente sensíveis às condições políticas do país — e, assim como foi possível observar a convergência e a efervescência mencionadas durante o regime autoritário, a abertura política e a reinauguração da democracia parecem claramente ter tido, ao menos inicialmente, certo efeito dispersivo em correspondência com a atração exercida pelas novas oportunidades de militar em grupos político-partidários, exercer cargos na administração pública, realizar trabalhos de assessoria ou mesmo, em certos casos, galgar postos eletivos e abrir perspectivas de uma carreira propriamente política. Qualquer que seja a importância intrínseca ou a relevância social e política da contribuição que possa resultar de tal envolvimento político-administrativo de nossos cientistas sociais, parece bastante claro que suas conseqüências diretas para as ciências sociais brasileiras como campo de produção de conhecimento são predominantemente negativas, não só por desfalcar diretamente a área ao recrutar quadros que tendem a figurar entre os mais qualificados e amadurecidos, mas também pelo desestímulo que com freqüência acarreta para o ramerrão normalmente opaco da atividade acadêmica, por contraste com certo "charme" e notoriedade — sem falar de melhores salários e recompensas materiais de outro tipo — que cercam o desempenho de cargos públicos e políticos. Além disso, mesmo superado o clima eufórico da transição à democracia e o que havia de sedutor no chamamento a participar pessoalmente de maneira mais intensa da construção de um país novo, a dinâmica da vida política em condições democráticas tende a oferecer ao cientista social oportunidades várias de participar do debate público a respeito de temas diversos, o que pode às vezes se relacionar de forma mais ou menos tensa e problemática com o trabalho acadêmico mais denso e exigente.

Tal sensibilidade às condições do contexto político compõe-se de maneira importante com o desafio de se fazer do trabalho na área das ciências sociais uma autêntica *carreira*, capaz de se mostrar estimulante e recompensadora para o profissional da área nas diversas fases em que se desdobra e assim, eventualmente, de *resguardá-lo* das "tentações" de esferas adjacentes como as recém-mencionadas. É bastante claro que *falta*, nas circunstâncias do país, uma institucionalização mais adequada do campo das ciências sociais como campo de trabalho acadêmico, e isso será provavelmente um fator tão importante no quadro dos problemas da área quanto a sensibilidade geral dela ao contexto político, e talvez uma das *razões* dessa sensibilidade. Naturalmente, a existência de perspectiva estruturada de carreira para o profissional individual seria uma conseqüência ou um aspecto da estruturação acadêmica mais efetiva da área.

Não se trata aqui apenas de coisas como a estrutura formal de cargos e salários ou mecanismos de promoção, aspectos estes que podem mesmo redundar (como se dá em ampla medida com a legislação vigente) na *negação* do que se deveria entender por uma carreira autêntica, na medida em que não premiem adequadamente a efetiva realização dos valores acadêmicos que esta supõe. Na verdade, o diagnóstico dos problemas suscitados pela idéia de uma apropriada institucionalização da carreira do profissional de ciências sociais remete, antes de mais nada, ao caráter mais ou menos dinâmico e estimulante do clima intelectual geral em que esse profissional desenvolve sua atividade, e suscita questões a respeito das circunstâncias que cercam tanto o ensino quanto a pesquisa e o debate entre os especialistas da área.

Tomemos o ensino. Se começamos pelo ensino de graduação, que seria a base do sistema, a situação que aí se encontra se caracteriza acima de tudo pela admissão anual de um grande número de estudantes cuja perspectiva de virem a transformar-se em efetivos profissionais da área é nula e cuja motivação corresponde, na maioria dos casos, a alguma mescla do objetivo de obter certa "cultura" com a mera caça a um diploma de curso superior. Nessas circunstâncias, é apenas natural que tenha vindo a predominar aí uma espécie de pacto corrupto entre professores e estudantes, no qual os aspectos essenciais do processo pedagógico autêntico, voltado para a transmissão de conhecimentos e para o treinamento para a pesquisa ou o exercício profissional, são substituídos por condutas ritualísticas em que se asseguram, sem muito trabalho de parte a parte, o salário do professor e o diploma do aluno. A desmoralização correspondente a esse clima geral se manifesta em coisas tais como o absenteísmo por parte dos estudantes (e muitas vezes dos professores), a não-observância de horários e a inexistência de quaisquer exigências mais severas ou de procedimentos minimamente rigorosos de aferição de rendimento.

Dificilmente se poderia esperar que a pós-graduação erigida sobre tal base viesse, a longo prazo e de maneira geral, a exibir grande consistência e qualidade. Assim, não é de admirar que, no nível de mestrado, mesmo nos programas considerados bons, os estudantes que chegam, uma vez admitidos, a con-

cluir realmente os cursos, com elaboração e defesa de dissertação, sejam uma minoria relativamente pequena. Na área de ciência política, por exemplo, a taxa histórica de conclusão fica em torno de 30%, apesar de um aumento recente para a faixa dos 40%. Isso significa, visto o dado pelo ângulo oposto, que se mantém há anos um sistema de mestrado em ciência política no qual nada menos de 70-60% dos estudantes, que em sua quase totalidade recebem bolsas de estudo, jamais concluem o programa, nem se capacitam realmente para o trabalho de pesquisa, se tomamos a elaboração da dissertação como um teste aproximado de tal capacitação.

Segue-se todo um rol de traços mais ou menos negativos:

• O fato de que cada vez menos se possa exigir, para admissão ao mestrado, o conhecimento adequado de *qualquer* língua estrangeira, sob pena de se excluir com isso mesmo os de melhor potencial e de, na verdade, inviabilizar os próprios programas, pelo número exíguo de estudantes que estes poderiam admitir. Tal problema, além disso, é fortemente agravado pela crescente competição entre programas de mestrado que se multiplicam: por exemplo, na Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da UFMG, o curso de graduação em ciências sociais representa no momento a área mais óbvia — apesar de não exclusiva — de recrutamento de candidatos para cinco programas de mestrado oferecidos por seus diversos departamentos: ciência política, psicologia, filosofia, história e sociologia e antropologia.

• O fato de que a qualidade das dissertações de mestrado aceitas e aprovadas, num quadro em que a própria elaboração da dissertação já é excepcional, deixe com freqüência a desejar (aplicam-se aqui, naturalmente, as observações feitas na seção anterior deste texto).

• O fato de que na USP, por exemplo, mesmo as teses de *doutorado*, como vimos, apesar do apego a certa ritualística de pesquisa, sejam com freqüência muito deficientes teórica e metodologicamente, em alguns casos com total desconhecimento de qualquer bibliografia estrangeira — e transformando, por vezes, a tarefa de participar de bancas examinadoras numa experiência constrangedora, dada a forte pressão no sentido de que tudo seja aprovado com nota máxima e "louvor".

• O fato de que, mesmo no Iuperj (que mereceu durante bastante tempo, em minha opinião, a avaliação global mais favorável quanto à pós-graduação em ciência política e sociologia no país), o programa de doutorado, que se iniciou em 1980, não tenha ensejado a conclusão senão de um número reduzido de teses, o que seguramente indica, ainda que se venha a ter boas teses, clara tendência à falta de correspondência entre admissões ao programa e conclusões, tal como a que se apontava com respeito ao mestrado.

Um resultado do quadro geral parece ser o de que a criação de um nível de ensino e atividade acadêmica supostamente mais avançado (da graduação para o mestrado, deste para o doutorado, sem falar das pressões crescentes e claramente equivocadas pela institucionalização do "pós-doutorado") surge em boa medida, em muitos casos, como forma de se procurar prover pela redefinição institucional o *élan* e a renovada expectativa da criação de condições propícias ao dinamismo e à qualidade. (Note-se que vários programas que só contavam com o mestrado planejam agora começar também o doutorado.)

Algo que pode ser considerado como uma espécie de coroamento "apropriado" de tudo isso, e que tem grande relevância do ponto de vista da precária institucionalização profissional do trabalho na área das ciências sociais e de suas deficiências como área capaz de prover motivação adequada uma vez alcançados níveis um pouco mais avançados na carreira, é o caráter em geral rarefeito, inconseqüente e, em suma, pouco profissional da comunicação e do debate entre os especialistas da área. Esse aspecto se revela de maneira bem clara no lado aparentemente mais bem-sucedido das atividades da própria Anpocs, que se tem estruturado em torno de grupos de trabalho, os quais fornecem, por exemplo, o ponto de referência para a organização da quase totalidade dos encontros anuais da entidade até hoje ocorridos. O traço que quero apontar a respeito é o de certo artificialismo algo diletante não só na dinâmica do estabelecimento e da sobrevivência dos grupos, mas sobretudo nas discussões que se processam no interior deles. Pessoalmente, posso trazer o depoimento de que, apesar de ter me dedicado por vezes com alguma aplicação e esforço a examinar criticamente, no interior de certos grupos de trabalho da Anpocs, o trabalho de meus colegas, *jamais* vi esse empenho crítico resultar em qualquer forma de reexame e eventual reelaboração do material discutido antes de sua publicação ou republicação, ainda que fosse para, diante da crítica, *manterem-se* as posições anteriores com argumentos novos. (Isso por certo não quer dizer que não tenha tido, independentemente dos grupos de trabalho da Anpocs e em circunstâncias que me parecem antes excepcionais na área das ciências sociais, a experiência de real e proveitosa colaboração com colegas.) Naturalmente, se a dinâmica da comunicação e dos debates é esta, não há razão para esperar que ela seja um fator de aprimoramento da qualidade das *publicações* na área das ciências sociais — com respeito às quais uma nova faceta do mesmo problema se mostra na inexistência de crítica acadêmica séria de obras publicadas. Também aqui posso trazer o respaldo de minha experiência pessoal: sendo o autor do primeiro livro a receber, em 1985, o prêmio de "melhor obra científica" do concurso anual da Anpocs inaugurado naquele ano, tampouco posso registrar, ao longo dos anos que se passaram desde a publicação e a premiação, qualquer comentário, publicado sob qualquer forma, a respeito dele. Claro, minha experiência nesse caso não retrata tudo o que se passa na área de publicações, que é influenciada por fatores diversos e mais ou menos espúrios academicamente, sobre os quais se terá algo a dizer adiante. Seja como for, não

há como evitar, tudo somado, a sensação de um jogo algo fútil e tendente ao solipsismo.

Envolvido em tudo isso se encontra, naturalmente, um problema crucial que não foi considerado até aqui: o processo a que se viu submetida a universidade brasileira em geral em anos recentes, primeiro com a inchação sofrida durante o período autoritário, depois com as reivindicações de democratização da universidade e com o dinamismo adquirido pela movimentação sindical dos docentes e as organizações correspondentes. Apesar dos aspectos positivos que se podem apontar em ambos os momentos desse processo, sua articulação (sobretudo associada a outros aspectos da política do regime autoritário em relação ao ensino superior, que lhe atribuía baixa prioridade e escassos recursos, e às conseqüências da prolongada recessão econômica posterior) resulta numa grande crise da universidade brasileira, que não pode deixar de imprimir sua marca também na área das ciências sociais. Um aspecto correlato a destacar é que o plebiscitarismo que esse conjunto de circunstâncias tende a implantar no âmbito da universidade (e que convive problematicamente com os princípios de atenção ao mérito, à qualificação e à experiência que deveriam orientá-la institucionalmente) tende a contaminar prontamente as associações científicas tais como a Anpocs, reduzindo as chances de que venham a atuar como fator de excelência em suas respectivas áreas.

Uma menção deve ser feita aos centros autônomos, como o Iuperj, o Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebrap), o Centro de Estudos de Cultura Contemporânea (Cedec) e o Instituto de Estudos Econômicos, Sociais e Políticos de São Paulo (Idesp). O Iuperj corresponde a um caso especial, não apenas por integrar formalmente a Sociedade Brasileira de Instrução, apesar de dever prover por si mesmo o grosso dos recursos de que suas atividades dependem, como também por ser um centro dedicado ao ensino pós-graduado de ciência política e sociologia, além da pesquisa. Já os restantes, situados todos em São Paulo, dedicam-se apenas a atividades de pesquisa e consultoria. O Cebrap fornece certamente o modelo inicial e a matriz da qual nascem os demais centros paulistas (até mesmo no sentido bem literal de que seus fundadores se desligam dele para formar outros centros, por questões ideológicas ou de política partidária ou em função de projetos pessoais), sendo ainda peculiar no sentido de que a motivação para sua implantação esteve mais diretamente ligada às circunstâncias próprias do regime autoritário, com as dificuldades criadas para a permanência de vários de seus fundadores nos quadros da universidade. Embora de maneira menos dramática, também os demais centros têm alegadamente parte das razões da opção por criá-los em dificuldades do contexto institucional das universidades públicas, especialmente no empenho de evitar as dificuldades burocráticas e outras que as caracterizariam.

A avaliação da situação e do papel desempenhado por tais centros é equívoca. Por um lado, não há dúvida, no fundamental (apesar dos matizes que se poderiam introduzir relativamente a diferentes centros ou a diferentes momentos), quanto à contribuição representada pelo trabalho por eles desenvolvido na pesquisa e no ensino. Por outro lado, descontadas as circunstâncias especiais da criação e do funcionamento do Cebrap, fica a questão de que tipo de balanço estabelecer no que se refere à sua relação com a universidade. Apesar dos ganhos quanto a certa forma de agilidade que provavelmente foi possível obter, tais ganhos certamente cobraram um preço significativo em outros aspectos. Refiro-me especialmente à insegurança financeira que tende a caracterizar todos os centros, tornando-os dependentes em parte de um processo sempre renovado de negociação de apoio financeiro de fundações e entidades governamentais, em parte de uma atividade de pesquisa de tipo "caça-níquel", orientada para o mercado e nem sempre de maior interesse substantivo ou acadêmico. A insegurança leva a que os professores vinculados aos centros autônomos ou privados com freqüência tenham de recorrer a outros empregos, normalmente na própria universidade. No momento presente, em muitos casos a maioria dos professores e pesquisadores ligados aos departamentos universitários de ciências sociais desenvolve a maior parte de suas atividades nos centros em questão. Surge, assim, o problema dos custos que o funcionamento de tais centros acarreta para o dinamismo dos próprios programas universitários, bem como a indagação de que, tudo somado, e mesmo com as restrições que caracterizam a universidade pública, não seria mais rendoso intelectualmente se a dispersão de recursos que os centros representam fosse substituída pela reunião e potencialização desses recursos no quadro da universidade. Apesar dos arranjos formais que legalizam e consagram a "dupla militância" atual e a compatibilizam mesmo, em muitos casos, com o exercício de um suposto regime de "dedicação exclusiva" na universidade, e não obstante se falar com freqüência de "colaboração" entre as duas esferas, não há como deixar de reconhecer o importante elemento de *tensão* que existe entre elas e a maneira pela qual aquela "dupla militância" provavelmente concorre para a existência das deficiências e precariedades antes apontadas no que se refere ao ensino ministrado nos programas universitários.

O caso dos centros autônomos enseja referência a outro tipo de entidades que passam a povoar o espaço profissional de alguma forma aberto aos cientistas sociais, a saber, as chamadas "organizações não-governamentais", ou ONGs. Proliferando intensamente nos últimos anos, as ONGs tendem a representar um tipo de oportunidade de emprego para os cientistas sociais que demanda e estimula certo perfil "ativista" ou militante em vez de "científico"[20] — e não parecem representar um fator favorável ao aprimoramento da qualidade dos nossos programas.

Resta considerar brevemente a atuação do sistema institucional de apoio ao ensino e à pesquisa. Não parece haver algo específico da área de ciências sociais

[20] Reis (1992) estabelece a distinção entre duas formas de anticientificismo, a "expressiva" e a "ativista".

a destacar no funcionamento e na atuação da Finep. Quanto ao CNPq e ao sistema de fundações estaduais de apoio à pesquisa, impõem-se certas reservas. Independentemente da crise recente do CNPq como parte da crise geral do país, o grande volume de processos que lhe são submetidos e a heterogeneidade dos comitês compostos pelas disciplinas da área de ciências sociais (que dá a tais comitês certa característica de "residuais") tornam muito difícil que as decisões neles tomadas sejam o resultado de um processo de deliberação colegiada real e sistemática, no qual se pudesse esperar que discussões cuidadosas assegurassem a padronização de critérios e sua aplicação zelosa aos diferentes casos. Como conseqüência, pode tornar-se impossível saber, por exemplo, como o "ótimo" dos representantes da sociologia (ou deste ou daquele sociólogo individual que se ocupa de certa pilha de processos) se compara com o "péssimo" dos representantes da ciência política ou da antropologia (ou mesmo de outro sociólogo que se ocupa de outra pilha). Por outro lado, os comitês de assessores do CNPq ou das fundações estaduais não têm, naturalmente, como escapar das perplexidades e dificuldades que marcam a área das ciências sociais, tendendo antes a refleti-las. Combinadas em seus efeitos, essas duas observações produzem como resultado geral efetivo desperdício de recursos: contra o corporativismo que tende a caracterizar as posições adotadas quando se trata de recursos, inclinado a pedir sempre mais, a avaliação que minha experiência bastante longa como assessor tanto do CNPq e da Capes quanto de fundações estaduais parece justificar é que temos estado há algum tempo financiando coisas que não mereceriam ser financiadas.

A Capes merece uma palavra especial, tendo implantado um sistema destinado justamente a avaliar os programas de pós-graduação, onde se desenrola parte importante do que acontece em matéria de ciências sociais no país. O interesse e o mérito daquela iniciativa são bem claros. Infelizmente, porém, aqui também é preciso apontar uma espécie de crise, pelo menos no que se refere às ciências sociais, a qual foi objeto de discussão em reunião de equipe de avaliadores ocorrida no segundo semestre de 1992. Como destacado pelo próprio *staff* da Capes na oportunidade, ecoando observações que certos setores da comunidade fazem há tempos, a tendência, na área das ciências sociais, tem sido no sentido de que a ampla maioria dos programas receba avaliações favoráveis, multiplicando-se os AA e BB e utilizando-se cada vez menos os níveis inferiores da escala de conceitos. Se a avaliação geral que se faz no presente documento é correta, isso estaria ocorrendo em circunstâncias em que a qualidade do treinamento ministrado nos programas de pós-graduação apresenta deficiências graves e talvez crescentes. Uma ponderação relevante é que o sistema que tem permitido esse resultado se baseia, dado o esforço de padronização da avaliação, num conjunto de dados quantitativos e relações numéricas que podem facilmente disfarçar deficiências importantes, ou mesmo mostrar relação perversa com elas. Daí que tenham surgido, na reunião mencionada, sugestões de alteração profunda nos procedimentos de avaliação, para que se possa apreender a realidade do treinamento dado e sua qualidade.

Um item em particular merece destaque a propósito dessa questão de distorções no processo de avaliação, tendo em vista sua relevância para outros aspectos da dinâmica geral da área de ciências sociais. Trata-se do problema das *publicações*. Com efeito, nas publicações tende a ocorrer certa tensão mais ou menos aberta entre aquilo que motiva isoladamente os profissionais/pesquisadores e aquilo que deveria corresponder aos objetivos dos programas em termos de ensino e treinamento, ou mesmo em termos de qualidade geral. Por certos aspectos, essa tensão será talvez comum às diferentes áreas científicas. Outros aspectos, contudo, são provavelmente mais próprios da área de ciências sociais. O principal fator a ressaltar parece ser o papel exercido por um mercado editorial extra-acadêmico (e mesmo, em certa medida, intra-acadêmico em termos de público consumidor): em função de considerações como a da acessibilidade a um público amplo ou a do caráter mercadologicamente propício de certos temas ou pontos de vista, as demandas desse mercado podem ser totalmente alheias — e até com freqüência antagônicas — a qualquer consideração de qualidade do material a ser publicado. Em tal contexto, é naturalmente irônico, e mesmo perverso, que o critério do volume de publicações se torne, sem mais, um critério de avaliação *acadêmica*. Além disso, certo dinamismo "empresarial" que este ou aquele centro ou programa revele em assegurar recursos ou "esquemas" ágeis para publicação pode resultar também no abandono ou na minimização de preocupações de seletividade quanto à qualidade, incentivando-se uma política de "raspar as gavetas" e publicar tudo. Finalmente, seria preciso que os mecanismos de avaliação de produtividade em termos de publicações fossem capazes de ir além de critérios meramente quantitativos até por motivos mais simples: com base em critérios quantitativos, por exemplo, uma coletânea cujo organizador não tem senão o trabalho de juntar artigos esparsos (e às vezes já publicados anteriormente) conta tanto quanto um volume coletivo que resulte de efetivo trabalho conjunto e coordenado de pesquisa, cuja realização pode ter exigido anos de esforços. Dada a carência, no próprio sistema acadêmico de ciências sociais existente no país, de qualquer tradição de avaliação e crítica séria dos trabalhos publicados, que se mencionou anteriormente, a atenção do esforço de avaliação montado pela Capes — ou de outros que se venham a montar — para problemas dessa natureza se torna tanto mais importante.

4. Recomendações

Várias recomendações específicas decorrem mais ou menos claramente da discussão anterior, e elas serão expostas adiante. Mas o objetivo de extrair recomendações de uma avaliação como esta, especialmente em sua ligação com a preocupação pragmática e "tecnológica" que marca a iniciativa em que o presente texto se integra, enfrenta um problema preliminar e crucial na relação complicada entre qualidade e relevância prática. O ponto central envolvido se mostra com algo destacado anteriormente: a tendência a entender a "contextualização"

representada pela referência aos problemas nacionais (ou regionais, locais) como algo que *dispensa* a sofisticação teórico-metodológica ou mesmo se opõe a ela. Nessa ótica, a referência à "realidade" (brasileira, imediata) é o que dá a "relevância", e a teoria ou o refinamento metodológico são adereços algo supérfluos que se tornam efetivamente dispensáveis na medida da premência ou gravidade dos problemas do contexto imediato...

À luz da discussão acima, o que há de equivocado nessa perspectiva deveria ser patente. Não obstante a tendência reiterada, mesmo em círculos mais requintados, a formular o problema das relações entre qualidade e relevância em termos de uma "conciliação" entre as exigências de uma e outra, tais relações me parecem ser antes de tipo lexicográfico: os problemas de relevância só se colocam uma vez garantida inequivocamente a qualidade. Caso contrário, corremos o risco de ter um amontoado de estudos indigentes sobre problemas sociais relevantes — estudos que, sendo indigentes, não chegam a constituir os problemas em questão em autênticos problemas *científicos* e a contribuir para o conhecimento deles (nem, conseqüentemente, para seu apropriado equacionamento prático, podendo contribuir antes para confundir as coisas e dificultar as almejadas soluções). Se cabe esperar alguma contribuição das ciências sociais para o encaminhamento de nossos problemas práticos, ela terá de decorrer de sua condição de *ciências* sociais, e não poderá ser uma contribuição na qual os palpites do bem-intencionado cientista social simplesmente compitam em igualdade de condições com os palpites do leigo. Pois qualquer problema social premente contará sempre com muito maior número de leigos a dar palpites — na condição de cidadãos, e com todo o direito — do que de cientistas sociais. Como assinala Antônio Luiz Paixão com referência à área da criminalidade,[21] parte importante das deficiências de determinadas áreas temáticas de grande dramaticidade prática tem a ver justamente com o domínio do leigo sobre elas, com a conseqüência de que seu tratamento pelas ciências sociais seja condicionado fortemente pelo debate leigo. Isso se poderia talvez dizer de muito do que se faz na área de políticas públicas e do estudo da atuação de agências estatais em diversos campos, tais como o das políticas educacionais ou habitacionais do Estado — exemplos de áreas temáticas das ciências sociais para as quais a preocupação de relevância se voltaria naturalmente e que se acham, no entanto, freqüentemente caracterizadas pelas denúncias monótonas de certo "esquerdismo" banal.

Assim, não há como evitar atribuir posição central, ao ponderar as recomendações, à questão decisiva da qualidade. Daí decorre que, nas condições da área de ciências sociais que se caracterizaram acima, a recomendação por excelência é problemática e de difícil colocação em prática, pois envolve opor-se aos rumos assumidos pela evolução recente da ciência social estabelecida no país e a suas diretrizes ao menos tácitas. O que o problema contém de delicado e difícil fica

[21] Comunicação pessoal.

bem claro quando se considera a avaliação negativa que acima se fez da difusão do modelo "antropológico" de trabalho e as conseqüências que daí decorrem para as próprias relações das demais ciências sociais com a antropologia, como parte importante que é do *establishment* acadêmico brasileiro na área. De qualquer forma, não parece haver ações que valham realmente a pena se rejeitamos liminarmente o exame da questão do treinamento teórico-metodológico e de algumas de suas ramificações mais espinhosas. Seria provavelmente ilusório esperar que se pudessem obter medidas viáveis capazes de assegurar algum tipo de acordo transdisciplinar que fosse afim à perspectiva básica aqui defendida. Mas é certamente bem mais realista esperar que a antropologia, de um lado, e a sociologia e a ciência política, de outro, respondam de maneira efetiva a medidas destinadas a estimular e aprimorar o treinamento dado em termos compatíveis com as melhores tradições de cada disciplina.

Se pensamos em termos mais específicos, medidas bem concretas e imediatas poderiam ser adotadas, para começar, no que se refere ao sistema de avaliação da pós-graduação patrocinado pela Capes, como caso singular e importante de sistema de avaliação já implantado. Em vez do procedimento atual, no qual se privilegiam informações padronizadas e quantitativas que se mostram propícias a um tratamento ritualístico em que se evitam os constrangimentos da avaliação efetiva, seria possível, por exemplo, procurar aperfeiçoar e fazer uso mais extenso de um instrumento ao qual o próprio sistema de avaliação da Capes já recorre com as "comissões verificadoras", utilizadas atualmente por ocasião dos credenciamentos e recredenciamentos de programas. Seria o caso de constituir comissões, compostas adequadamente no que se refere ao número e às qualificações de seus membros, que executariam o trabalho de avaliação *em seguida à visita aos diferentes programas e ao cuidadoso exame,* in loco, *das informações relativas a cada programa.* Seria desejável, naturalmente, que fosse *a mesma* comissão a estabelecer contato com os diversos programas (em certas disciplinas isso não envolveria grandes problemas, dado o número reduzido de programas), ou, na impossibilidade disso, que os mecanismos utilizados se aproximassem tanto quanto possível desse desiderato (por exemplo, através do contato intenso da comissão responsável pela avaliação final com as diferentes comissões, em número tão reduzido quanto possível, que se encarregassem da visita e do contato direto com os programas). Como, naturalmente, é também possível — e tem acontecido com as "comissões verificadoras" — tratar ritualisticamente mesmo o contato supostamente mais inquisitivo que se tem nas visitas aos programas, seriam necessários o zelo e a supervisão da própria Capes para garantir que o trabalho resultasse em avaliação real e confiável.

Outra sugestão é a criação de um sistema de apoio e financiamento para a publicação de trabalhos científicos de maior fôlego, através do qual se selecionassem regularmente livros e monografias de qualidade que podem, por suas características acadêmicas, ter dificuldade para publicação comercial. A sugestão vai além do que se tem atualmente no Comitê Editorial Finep-CNPq, que se des-

tina a apoiar revistas e periódicos e no qual se tem de enfrentar uma situação problemática de periódicos já "estabelecidos", embora com freqüência precários e redundantes, onde é muito difícil atuar de maneira realmente saneadora além de certo limite moderado. No caso do apoio agora sugerido, o objetivo seria o de criar mecanismos que permitissem neutralizar ou reduzir, em relação à publicação de livros na área de ciências sociais, as distorções nascidas de considerações de natureza comercial e outras semelhantes, de que se falou anteriormente. Naturalmente, além do problema de garantir que se apliquem reais critérios de qualidade na seleção dos livros a serem publicados, há também o de assegurar esquemas que permitam a adequada distribuição e o acesso do público ao material publicado, sob pena de se reproduzir o esquema de impressão "semiclandestina" de obras acadêmicas que existe em algumas universidades. O selo de qualidade que seria trazido pela aprovação em concurso rigoroso e pela passagem pelo crivo de comissões de alto nível de um órgão como a Capes ou o CNPq seria, talvez, razão para esperar interesse público intensificado. Vale notar ainda dois pontos: primeiro, o de que a sugestão feita não é redundante com relação à premiação atualmente existente em algumas associações científicas, como a Anpocs, onde se trata de selecionar obras *já publicadas* (além de teses de doutorado e mestrado); segundo, o de que, apesar de ser certamente possível pretender criar apoio à publicação de obras científicas como o que aqui se sugere junto às próprias sociedades científicas, a propensão destas a se deixarem contaminar (com a inevitável preocupação de representatividade) por fatores de corporativismo e plebiscitarismo, de que antes se falou, torna preferível a opção por um órgão como Capes ou CNPq para servir de sede de uma eventual iniciativa na direção sugerida.

Certamente mais importante — e mais difícil — é fazer as reformas necessárias no ensino de graduação e pós-graduação. Quanto à graduação, um ponto crucial seria a eliminação do postulado "oficial" (negado rotundamente na prática) atualmente vigente de que o objetivo seria fazer cientistas sociais profissionais, sem qualquer reserva ou matiz, dos numerosos estudantes em princípio recrutáveis para os cursos de ciências sociais. Minha própria preferência é a de que se transformasse o ensino de graduação em ciências sociais num ensino entendido como de "ciclo básico", requerido dos estudantes ligados em geral à área de "humanidades" e aberto a estudantes de outras áreas, com ênfase em temas "substantivos" e entendido, como sugere Simon Schwartzman (1992:21), como um programa de informação sobre a política e a sociedade contemporâneas. O treinamento propriamente profissional estaria reservado para o nível de pós-graduação, onde se daria ênfase adequada aos requisitos teóricos e metodológicos da formação do cientista social. Uma conseqüência relevante dessa proposta é que ela vai contra certa tendência que se esboça mais ou menos nitidamente nos debates correntes: a de reduzir a importância e o tempo ocupado pelo mestrado. Na medida em que se restrinja ao nível de pós-graduação o treinamento profissional dos cientistas sociais, seria desejável preservar a escala intermediária do mes-

trado (ainda que reformulada e despida de certos vícios atuais) como forma de assegurar a possibilidade de uma caminhada mais segura para a maturidade profissional. Por outro lado, a proposta poderia ser complementada pela oferta de um tipo especial de formação profissional no nível de graduação, em termos análogos a algo sugerido também por Simon Schwartzman: um treinamento voltado para "o desenvolvimento de competência administrativa e gerencial" (1992:21) e também para o mercado de trabalho correspondente, por exemplo, aos institutos de pesquisa de mercado e opinião pública, treinamento este que envolveria forte ênfase em metodologias quantitativas e poderia ser ministrado no âmbito de cursos de administração pública e de empresas.

Finalmente, caberia provavelmente esperar um efeito exemplar e estimulante, com respeito à qualidade geral do trabalho na área de ciências sociais, da utilização criteriosa e seletiva da idéia de "laboratórios associados" ou de projetos integrados que vem tendo circulação no sistema institucional de ciência e tecnologia. Tratar-se-ia de fazer desse formato a oportunidade para a constituição de uns tantos grupos de pesquisa com perspectiva de terem impacto mais ou menos continuado em função da excelência de seu trabalho. Uma consideração lateral que se articula com as muitas razões em favor dessa idéia é que a constituição criteriosa de tais grupos de pesquisa poderia ser igualmente uma forma de se assegurar atenção imediata para certos temas *substantivos* de importância prática, que tendem a ser relegados precisamente por serem mais exigentes em termos das qualificações requeridas. Seria o caso, por exemplo (para tomar algo destacado com insistência por Vilmar Faria em comunicações pessoais), de um projeto destinado a obter o diagnóstico atualizado da estrutura social brasileira do ponto de vista de problemas de estratificação e mobilidade sociais, com seus desdobramentos em termos de problemas de pobreza e marginalidade, violência, criminalidade — e eventual contrapartida, no plano institucional, com o estudo de questões ligadas às formas de atuação e à possível reforma de agências estatais voltadas para tais problemas, ou seja, a face mais diretamente social do Estado.

Referências bibliográficas

Anpocs (Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais). *Relatório da Comissão de Pós-Graduação, 1988-1990*. s.d.

Barry, Brian. The strange death of political phylosophy. *Government and Opposition*, *15*(3/4), 1980.

Capes (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). *Relatório da comissão verificadora sobre o programa de pós-graduação em ciência política da USP.* (Visita ao programa realizada em junho de 1992 por Fábio W. Reis e Olavo B. de Lima Jr.)

Nozick, Robert. *Anarchy, state and utopia.* New York, Basic Books, 1974.

Nunes, Edson (org.). *A aventura sociológica.* Rio de Janeiro, Zahar, 1978.

Peirano, Mariza. Os antropólogos e suas linhagens. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, *6*(16):43-50, jun. 1991.

Przeworski, Adam & Teune, Henry. *The logic of comparative social inquiry.* New York, John Wiley & Sons, 1970.

Reis, Elisa. Impasses e desafios à teorização na sociologia contemporânea. In: Simpósio "Teoria Sociológica Clássica Contemporânea: Velhas Questões, Novas Abordagens". 1992. *Anais.* Sociedade Brasileira de Sociologia, 1992.

Reis, Fábio W. O tabelão e a lupa: teoria, método generalizante e idiografia no "contexto brasileiro". *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, *6*(16):27-42, jun. 1991.

Schwartzman, Simon. *A trajetória acadêmica e profissional dos alunos da USP: os estudantes de ciências sociais.* São Paulo, Núcleo de Pesquisas sobre Ensino Superior/USP, 1992. (AP5/92.)

Sigaud, Lygia. A pós-graduação em antropologia. In: Anpocs. *Relatório da comissão de pós-graduação, 1988-1990.* s.d.

Veyne, Paul. *L'inventaire des différences.* Paris, Éditions du Seuil, 1976.

Weffort, Francisco. *O populismo na política brasileira.* Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1978.

Computação

*Carlos J. P. de Lucena**

1. Uma definição pragmática para a área de computação

Historicamente, o termo "informática" foi introduzido no país em meados dos anos 60, como uma tradução das expressões *computer science* (usada nos EUA) e *computing science* (usada na Inglaterra), tal como ocorreu, anos antes, na França (*informatique*) e na Alemanha (*informatik*). Este é, por exemplo, o motivo pelo qual alguns dos departamentos pioneiros na área, no Brasil, são denominados de informática, quando deveriam ser departamentos de (ciência da) computação.

A generalização do termo informática deveu-se, principalmente, à política de informática implementada no Brasil, de fato, desde 1974 e, por lei, de 1982 até 1992. Esta política procurou reservar o mercado interno de pequenos e médios sistemas digitais da área de informática para empresas e tecnologias nacionais. A interpretação da antiga Secretaria Especial de Informática (SEI), incorporada na legislação para a área, estendeu a definição de informática, que passou a abranger as áreas de microeletrônica e automação industrial.

Não cabe neste relatório uma discussão técnica sobre a abrangência desejável para os conceitos de informática e computação. O que nos fez optar por discutir em separado a área de computação são argumentos bastante pragmáticos.

O amadurecimento científico e tecnológico da área de informática no país (no sentido privilegiado pela SEI), desde meados dos anos 70, levou à criação de várias sociedades científicas, todas elas bastante ativas há vários anos. São elas a Sociedade Brasileira de Computação (SBC), a Sociedade Brasileira de Automática (SBA), a Sociedade Brasileira de Microeletrônica (SBMicro) e a Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC).

Os especialistas da SBC atuam na área de computação (no Brasil o termo "cientista da computação" não é tão difundido quanto nos EUA), os especialistas da SBA e SBMicro são engenheiros e os da SBMAC são matemáticos. A interpretação da SEI sobre o escopo da área nunca chegou a alterar a organização dos comitês do CNPq e da Capes, que existem desde 1975 e 1980, respectivamente.

Nesses órgãos, os processos de pesquisadores da SBC são encaminhados para o comitê de computação, no CNPq, e para o de informática, na Capes, ambos cobrindo, na prática, as mesmas áreas. Os processos da SBA são encami-

---

* Departamento de informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
O autor gostaria de agradecer ao prof. Sílvio Lemos Meira, da UFPe, pelas diversas sugestões que foram incorporadas a este trabalho.

nhados para a engenharia elétrica ou mecânica, conforme o caso, os da SBMicro, para a engenharia elétrica e os da SBMAC, para os comitês de matemática. As avaliações de áreas, iniciadas pelo CNPq e tradicionalmente feitas pela Capes, seguem esta mesma sistemática.

A área de computação foi definida de uma forma pragmática, enumerando-se os principais grupos de interesse da SBC, entendidos como aqueles que realizam simpósios anuais independentes. São eles os grupos de: teoria da computação, bancos de dados, arquitetura de computadores, redes de computadores, computação gráfica e processamento de imagens, inteligência artificial, computadores e educação, e engenharia de *software*. Portanto, as referências, nesse texto, aos termos *computação* e *informática* trazem implícitas os significados expostos nesta seção.

2. A área de computação no Brasil

O objetivo desta seção é dar uma visão geral da área de computação no Brasil, através de um breve histórico do setor no país e de uma apresentação das atividades de disseminação científica e tecnológica, que, no caso da computação, são um indicador muito valioso do estágio de desenvolvimento da área no Brasil.

Breve histórico

Os primeiros computadores da América Latina foram instalados simultaneamente no Brasil e na Argentina, e os primeiros programas acadêmicos na área foram iniciados no Brasil na mesma época em que eram implantados nos países do Primeiro Mundo, por volta de 1967. Entre 1960 e 1962, foram instalados computadores na PUC/Rio, na Universidade de São Paulo, no ITA e no IBGE, e já em 1962, foi desenvolvido no ITA o primeiro protótipo de um computador brasileiro (o "Zé" do J. Ripper).

Até o final dos anos 60, as principais universidades do país já dispunham de centros de computação. Os primeiros programas de pós-graduação em computação foram criados a partir de 1967 na PUC-Rio (1967), no Inpe (1968) e na Coppe/UFRJ (1971). No final da década, começaram a ser criados os programas de graduação. O primeiro bacharelado surgiu na Universidade Federal da Bahia, em 1968, e, em 1974, foi criado, pelo MEC, um curso de graduação de curta duração para a formação de tecnólogos em processamento de dados. Esse tipo de graduação se disseminou rapidamente por todo o país.

A atividade de pesquisa em computação começou a ser realizada institucionalmente a partir dos anos 70. Vocações por especialidades na área começaram a surgir, em função da maior vinculação dos novos departamentos à engenharia elétrica ou à matemática. Por exemplo, em 1972, o Departamento de Engenharia Elétrica da USP projetou o minicomputador "Patinho Feio" e, nos dois anos subseqüentes, a USP, em conjunto com a PUC-Rio, desenvolveu o *hardware* e o *software* básico do G-10, o primeiro computador industrial produzido no Brasil.

Em 1972, foi criada a Coordenação das Atividades de Processamento Eletrônico (Capre), com o objetivo de disciplinar a compra de computadores pelos órgãos do governo. A atividade da Capre logo evoluiu para a indução de uma indústria de computadores nacionais, iniciada com a compra, por algumas empresas nacionais, de tecnologias para computadores de médio porte que, nos anos seguintes, foram quase completamente nacionalizadas.

Mais tarde, esse processo de indução viria a ser estendido pela SEI, que criou uma reserva de mercado para microcomputadores, aproveitando um nicho de mercado surgido pelo uso de arquiteturas abertas para computadores pessoais. Em 1982, a reserva de mercado foi institucionalizada pelo prazo de 10 anos, dentro de uma legislação mais ampla para a área de informática. Os resultados da chamada política de informática são muito controvertidos e serão discutidos na seção 4.

Há alguns anos o Brasil conta com, pelo menos, um programa de graduação em computação em cada uma das suas quase 100 universidades. Um número significativo das cerca de 800 faculdades isoladas existentes no país também oferece curso de formação em tecnologia de processamento de dados. Funcionam, hoje, no país, 13 programas de graduação em computação, os melhores deles com nível comparável aos bons programas existentes no exterior.

Disseminação científica e tecnológica

Um aspecto a ser destacado neste trabalho é o dinamismo da comunidade científica da área de computação no Brasil, em termos de sua reciclagem permanente através de eventos estaduais e nacionais da mais variada natureza. Este é considerado um indicador muito importante da atividade científica e tecnológica do setor.

Neste trabalho, as informações a este respeito se restringirão aos eventos de âmbito nacional promovidos pelas comunidades científica e tecnológica, o que, no entanto, não reduz a importância dos seminários e feiras patrocinados pela indústria em caráter esporádico ou regular, como os Congressos Nacionais de Informática (da Sucesu, Sociedade de Usuários de Computadores e Equipamentos Subsidiários) e as Fenasofts.

Eventos da sociedade brasileira de computação

A Sociedade Brasileira de Computação foi criada em 1975, durante a realização da terceira versão de um par de seminários associados chamados Semish (Seminário Integrado de *Software* e *Hardware*) e Secomu (Seminário sobre Computação na Universidade). Este par anual de seminários se transformou no congresso anual da SBC, que até hoje preserva o caráter de uma reunião sobre temas

muito abrangentes. Além de sua conferência anual geral, grupos de interesse dentro da sociedade organizam simpósios nacionais, também anuais, nas seguintes áreas: bancos de dados; arquitetura de computadores; redes de computadores; inteligência artificial; computação gráfica e processamento de imagens; engenharia de *software*; informática e educação.

O mais recente desses simpósios — Informática e Educação — está na sua quarta versão, e o mais antigo — Banco de Dados — na sua nona versão. O que é relevante sobre os simpósios é o cuidado na seleção dos trabalhos. Comitês de programa, em alguns casos internacionais, têm de escolher, em média, um trabalho em cada quatro submetidos. Os simpósios adotam, também, a prática de exigir a introdução das possíveis correções dos *referees* para os trabalhos aceitos, *antes* da publicação dos anais. Cada simpósio tem contado, em média, com 300 participantes, quase sempre distribuídos em 100 docentes e 200 alunos de pós-graduação.

A Escola de Computação

A Escola de Computação é um evento bienal, promovido pelos principais departamentos e centros de pesquisa em ciência da computação do Brasil, com o objetivo de manter a comunidade acadêmica/científica do país atualizada com o estado-da-arte internacional da área. A Escola de Computação se inspirou no Colóquio Brasileiro de Matemática, da Sociedade Brasileira de Matemática, e é um dos maiores eventos de ciência da computação da América Latina.

Em sua nona edição, a escola esteve, em 1994, sob a responsabilidade do Departamento de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, em Recife, e foi incluída como um dos eventos comemorativos do vigésimo aniversário do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFPe.

A escola compreende cursos básicos (geralmente seis) ministrados por cientistas brasileiros e destinados a estudantes dos últimos períodos de cursos de graduação ou dos primeiros períodos de pós-graduação, além de cursos avançados (no nível de PhD).

Para cada curso existe um livro (de até 250 páginas) correspondente, distribuído para todos os participantes. Os autores detêm os direitos autorais sobre o material e recebem algumas cópias gratuitamente.

O evento conta, também, com uma série de palestras proferidas por especialistas internacionais de diferentes áreas. Importantes personalidades da pesquisa científica em computação apresentam palestras e minicursos.

A freqüência às últimas escolas de computação variou entre 300 e mil participantes. Em 1994, e dos cerca de 600 participantes para a escola, aproximadamente 200 (brasileiros) receberam auxílio para despesas com passagem e/ou estada.

O comitê de programa da escola seleciona os cursos básicos baseado em propostas de livros submetidos pelos possíveis autores, descrevendo o conteúdo,

bibliografia de apoio, plano de curso para uma série de cinco aulas de, no máximo, 90 minutos de duração cada uma, e *curriculum vitae* dos autores. Para a nona escola, foram submetidas 28 propostas.

As Ebais

As Ebais (Escolas Brasileiro-Argentinas de Informática) podem ser consideradas como versões binacionais das Escolas Brasileiras de Computação, e fazem parte do Programa Brasileiro-Argentino de Informática (Pabi). No início, tinham uma periodicidade anual, mas, atualmente, são realizadas a cada dois anos (sem interferir com as Escolas de Computação), no Brasil ou na Argentina, alternadamente.

Em 1993 as Ebais já estavam em sua quinta versão e já haviam 2 mil alunos (mil de cada país). Haviam sido publicados 36 livros originários das quatro Ebais realizadas.

Existem algumas diferenças importantes entre as Ebais e as Escolas de Computação. Em primeiro lugar, nas Ebais são utilizados professores dos dois países, uma vez que a responsabilidade pelos cursos é dividida entre eles. Em segundo lugar, existem cursos convencionais e laboratórios.

Laboratórios são cursos práticos em tempo integral, realizados durante as Ebais, nos quais alunos dos dois países desenvolvem cooperativamente um projeto de pesquisa e desenvolvimento (por exemplo, engenharia de *software*).

Entretanto, os projetos não começam do zero. No ano que precede cada Ebai, auxiliares de ensino de professores de ambos os países preparam o material para o projeto (manuais e protótipos de *hardware* e de *software*), que será usado de forma intensiva durante as duas semanas da escola.

As Ebais, que, no início, eram uma mistura de cursos convencionais e laboratórios, tendem agora a se concentrar exclusivamente em laboratórios, com uma drástica redução do número de participantes em benefício do aumento de qualidade. As Ebais têm estimulado a pesquisa aplicada nos dois países e cumprido seu objetivo de aproximar as duas comunidades científicas e tecnológicas.

3. Uma avaliação dos programas acadêmicos

Nesta seção, serão apresentados alguns números sobre a pós-graduação e pesquisa em computação no Brasil, uma discussão sobre a pesquisa em computação realizada em institutos e centros de pesquisa, e os resultados da avaliação mais recente feita pela Capes para a área. A idéia, aqui, é trazer ao conhecimento de especialistas de outras áreas do conhecimento o volume de atividades científicas e tecnológicas em computação existente no Brasil, apesar das sucessivas crises econômicas e institucionais que a ciência e a tecnologia no país e a sociedade brasileira em geral vêm atravessando nos últimos anos.

Um pequeno censo da área acadêmica

Os dados quantitativos apresentados nessa seção foram obtidos no CNPq (1992) e na Capes (Soares et alii, 1992; Ziviani, 1985; Lucena, 1983; Lucena et alii, 1986; Ziviani et alii, 1987; Santos et alii, 1989). De grande utilidade foi o fato de o processo de avaliação da Capes para a área de computação ter criado a tradição de compilar sistematicamente dados sobre os programas de pós-graduação quando das avaliações anuais ou bianuais. O que se pretende aqui é traçar um perfil numérico aproximado da comunidade científica da área de computação na pós-graduação.

A tabela 1 mostra a evolução do total de docentes doutores em todos os programas de pós-graduação da área de computação desde 1984 até 1991 (nos anos em que foi realizada a avaliação da área pela Capes).

Tabela 1
Docentes doutores

Ano	Área			Total
	Computação	Engenharia elétrica	Matemática	
1984	106	33	5	144
1985	112	38	6	156
1986	122	38	6	166
1988	133	–	–	133
1991	221	–	–	221

Nos anos de 1984, 1985 e 1986, os doutores que trabalhavam na área de computação em programas de computação propriamente ditos se vinculavam aos departamentos de engenharia elétrica e de matemática. Já os dados para 1988 e 1991 valem estritamente para a área de computação, o que significa que se usarmos o conceito amplo e nos referirmos a uma área de informática (computação + microeletrônica + automação + matemática computacional) esta área teria, em 1991, aproximadamente 300 doutores (o arredondamento da projeção informal incorpora uma estimativa do número de doutores na área de automação que, em geral, se vinculam a departamentos de engenharia mecânica, e não foram computados na tabela 1).

De acordo com a tabela 1, o número de docentes doutores dobrou em apenas três anos (entre 1988 e 1991), provavelmente em função dos seguintes fatores: o amadurecimento dos programas de doutoramento no país; a ampliação do número de bolsas em meados dos anos 80 (conseqüência da euforia resultante do desempenho da indústria de informática), e a implantação do programa RHAE para a área de informática.

As tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, o total de alunos de pós-graduação na área de computação, *em programas estritamente de computação,* no período 1984-91, nos anos em que foi realizada a avaliação, e o total de titulados na pós-graduação.

Tabela 2
Alunos de pós-graduação (apenas computação)

Ano	Nível		Total
	Mestrado	Doutorado	
1984	633	82	715
1985	694	92	786
1986	563	93	656
1988	635	103	738
1991	1.235	222	1.457

Tabela 3
Titulados de pós-graduação (apenas computação)

Ano	Nível		Total
	Mestrado	Doutorado	
1984	96	7	103
1985	94	9	103
1986	110	7	117
1988	122	7	129
1989	117	9	126
1990	161	13	174
1991	233	20	253

Valem aqui os comentários relativos à tabela 1 sobre o grande salto entre 1988 e 1991. Como se referem a alunos, as tabelas 2 e 3 sugerem um diagnóstico centrado no entusiasmo reinante na indústria local de informática, que até 1987/

88 teve um desempenho excelente, apesar dos fracos resultados alcançados pela economia brasileira desde o início dos anos 80.

A relação abaixo se refere à reciclagem do corpo docente dos programas de pós-graduação (doutoramento e pós-doutoramento no exterior) e indica que, em média, cerca de 25% dos docentes desses programas estão permanentemente reciclando seus conhecimentos (entre 1984 e 1988, um percentual ainda mais alto de docentes passou por uma experiência de reciclagem):

- 1984 — 47;
- 1985 — 47;
- 1986 — 55;
- 1988 — 46;
- 1991 — 57.

A falta de acesso ao número de professores visitantes nos programas na mesma época (que, sabemos, foi muito grande) impede a apresentação de números expressivos indicando o intenso intercâmbio entre a comunidade científica brasileira e a comunidade científica internacional na área de computação.

No que concerne à formação no exterior, a área de computação concentra a maior demanda do CNPq, com 76 pedidos de bolsa de doutorado em 1993, seguida pela física, com 46 pedidos, em uma conjuntura em que, apesar da crise do início dos anos 90, o mercado continuava contratando.

Se esses números se mantivessem estáveis, o Brasil estará recebendo anualmente cerca de 50 doutores formados no exterior, sem contar os cerca de 20 que se formam no país todos os anos. Em outras palavras, seria possível criar dois departamentos de computação ou um instituto de pesquisa nesta área por ano!

É possível que os números acima não impressionem pesquisadores de áreas já consolidadas, como a física e a biologia. No entanto, considerando que computação é uma área muito nova, os números para o Brasil são excepcionais. Por exemplo, os EUA formam cerca de 200 doutores em computação por ano. Portanto, o Brasil forma 10% deste número por ano e ainda recebe outros 25% de doutores por ano dos EUA e da Europa.

Nenhum país do Terceiro Mundo (nem mesmo a Índia, em termos relativos) tem um sistema de pós-graduação e pesquisa comparável. Na América Latina, não é possível sequer fazer comparações, uma vez que nenhum país, nem de longe, se aproxima desses índices.

Os institutos de pesquisa

Embora a maior parte da pesquisa na área de computação seja realizada nos programas universitários de pós-graduação, existem outras instituições onde algum tipo de pesquisa em computação é realizado, como é o caso dos institutos do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), do governo de São Paulo, da Embrapa e de empresas estatais, bem como dos laboratórios de algumas empresas privadas.

Os institutos do MCT são o Centro Tecnológico de Informática (CTI), em Campinas, o Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe), o Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Impa) e o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC). Além desses, faz pesquisa na área de computação o Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), do estado de São Paulo (o Rio de Janeiro criou o Instituto Politécnico do Rio de Janeiro, IPRJ, que não se desenvolveu). Os principais institutos de empresas estatais são: o Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes), o Centro de Pesquisas da Eletrobrás (Cepel) e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás (CPqD). Um exemplo de laboratório de empresa privada é o Centro Científico da IBM/Brasil.

Com exceção de um dos institutos do CTI, o Instituto de Computação (o menor dos três desta instituição), e do Centro Científico da IBM, em nenhum dos institutos e centros de pesquisa mencionados a pesquisa em computação é a atividade-fim. Apesar disso, em todas as instituições acima, existem grupos ativos fazendo pesquisa científica e tecnológica em computação, em particular nas áreas de computação gráfica e processamento de imagens, e de engenharia/tecnologia de *software*. Para dar uma idéia da área de especialização de cada um deles, o Impa mantém um programa forte em computação gráfica para visualização em matemática, o Inpe tem a maior concentração de atividades no país em processamento de imagens, e no CPqD estão sendo desenvolvidos os maiores *software* com alto conteúdo tecnológico já produzidos no país (milhões de linhas de código), destinados a telecomunicações.

De uma maneira geral, essas instituições realizam cerca de 10% da pesquisa de computação existente no país, a julgar, por exemplo, pela quantidade de publicações em simpósios da SBC. Cabe, contudo, a ressalva de que a lista de institutos e centros de pesquisa mencionados pode não estar completa.

Por outro lado, já existe um pequeno número de empresas de *software* bem-sucedidas que são *spin-offs* de projetos acadêmicos de pesquisa. Pela própria natureza dos produtos que comercializam, estas empresas precisam continuar a fazer pesquisa para assegurar a seus clientes a evolução dos produtos que fornecem. Este tipo de pesquisa tecnológica em computação não foi contabilizado nos dados apresentados acima.

A avaliação da Capes

A tabela 4 mostra a avaliação realizada pela Capes em 1992, com base em dados para 1991, da pesquisa e pós-graduação em computação no Brasil (Soares et alii, 1992). Análises de avaliações anteriores podem ser encontradas em: Ziviani, 1985; Lucena, 1983 e 1986; Ziviani et alii, 1987; Soares et alii, 1992.

Em nossa opinião, os programas da PUC e da Coppe são os de maior tradição, consolidados há alguns anos, enquanto os da UFRGS, UFMG e UFPe foram

os que mais progrediram desde 1985. De uma maneira geral, os programas mencionados, ao lado dos da Unicamp e da USP-São Carlos têm, indiscutivelmente, padrões de qualidade internacional.

É preciso chamar atenção para o fato de que inúmeras universidades no país estão em processo de criação de programas de pós-graduação na área. Entre aquelas com atividades de recrutamento mais intensas, destacam-se a Unesp, a PUC-SP, a Ufes, a UFF, a UFRN, a UFBA, a UEM e a UFSC.

Tabela 4
Avaliação da Capes (1992)

Instituição/curso	Ano de início		Conceito	
	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado
UFPb Inf.	73			C+
UFPe Inf.	75	92*	A	SC*
UFRJ Eng. S.C.	71	71	A	B+
PUC-RJ Inf.	67	75	A	A
IME S&C	71		C-	
UFMG C. Comp.	74	90	A	SC
UFSCar C. Comp.	88			C
USP-S. Carlos C. Comp.	74			B
Unicamp C. Comp.	77	92*	B	SC*
Inpe Comp. Ap.	68	74	C-	C-
Cefet Inf. Ind.		88		C
UFRGS C. Comp.	73	88	A	SC
UnB C. Comp.	89		D	

* Sem conceito (SC); os dados ainda não constam da tabela da Capes.

4. Uma avaliação das políticas tecnológica e industrial

Poucas áreas tecnológicas no Brasil tiveram a oportunidade de montar programas acadêmicos e de pesquisa simultaneamente à implementação de uma política industrial para o mesmo setor, uma vez que, tradicionalmente, a política industrial não tem estado associada a uma política tecnológica. Segue-se uma apreciação sobre os prós e contras da política brasileira de informática.

Considerações gerais

O carro-chefe da política de informática brasileira — a reserva temporária de um segmento de mercado — terminou, de fato, no início do governo Collor e, de direito, em outubro de 1992. Talvez para justificar a nova política industrial liberal daquele governo, que rompia radicalmente com a tradicional política brasileira de substituição de importações, iniciou-se uma campanha sistemática de desmoralização da "antiga" política de informática. O discurso então em vigor era de que terminara um longo período de obscurantismo e que o país teria condições de, finalmente, conhecer a moderna tecnologia da informática.

Esse é mais um exemplo de como, no Brasil, predominam decisões do tipo "oito ou oitenta", verdadeiro ou falso. Chamamos a isto a "lei da exclusão do meio" da nossa administração pública.

A política de informática (disposta na Lei nº 172/82) previa a capacitação tecnológica do país neste setor — estratégico para todas as outras indústrias —, e para isto, previa 13 estratégias diferentes, uma das quais era a reserva de mercado. A política industrial liberal prega maior internacionalização da economia e, para isso, prevê sete medidas diferentes: uma delas é a liberalização de importações. No conjunto, tanto a política de informática quanto a nova política industrial têm muitas virtudes. Mas, como no Brasil só se admite uma idéia de cada vez, a política de informática foi resumida praticamente à reserva de mercado, ao passo que, entre os diferentes aspectos da nova política industrial, a ênfase recaiu quase exclusivamente na liberalização de importações. Vale a pena lembrar que o investimento em ciência e tecnologia se inclui tanto entre as 13 estratégias da política de informática quanto entre as sete estratégias da nova política industrial, coisa que jamais havia ocorrido.

Some-se ao mau hábito brasileiro de "uma idéia fixa" a cada momento o tradicional efeito *bandwagon*, pelo qual a maioria segue a idéia da moda. Em função disso, impressiona, recentemente, o volume de críticas desinformadas sobre a antiga política de informática e a quantidade de novos liberais recentemente convertidos do "obscurantismo de um nacionalismo irresponsável". Esse fenômeno tem sido muito comum no meio científico brasileiro em geral. É certo que a comunidade científica sofreu prejuízos com a política de uma nota só: só reserva. Mas imaginar que o país ficou atrasado em informática e que só agora poderá se desenvolver é, no mínimo, um erro grosseiro.

Antes de passar a uma discussão sistemática da política de informática, vale a pena antecipar nossa opinião sobre reserva de mercado e sobre a política de informática em geral. A reserva cumpriu um papel importante no desenvolvimento tecnológico brasileiro na área de informática: entretanto, pelo menos quatro anos antes do seu término, lideranças políticas, industriais e acadêmicas já discutiam a inevitabilidade de seu fim e a necessidade de uma transição racional que, de acordo com as recomendações, não deveria assumir, logo de início, a forma de uma liberalização total. Participamos desta discussão e deste quase con-

senso através de inúmeros seminários e grupos de trabalho. Quanto à política, expressa em lei, embora muitos a creiam obsoleta, não há dúvida de que ela tem virtudes que precisam ser implementadas, como, a necessidade de investir em ciência e tecnologia, afirmativa com a qual todos concordam no nível de retórica, mas que nunca é colocada em prática.

Uma discussão da política de informática

A principal crítica à política brasileira de informática em vigor de 1975 até 1992 foi feita na seção anterior e pode ser resumida da seguinte forma: política de informática e reserva de mercado operaram como sinônimos. Em outras palavras, muitos outros aspectos importantes previstos na lei não foram implementados ou foram implementados apenas superficialmente. Isto equivale a dizer que tudo se restringiu a uma política industrial e que não foi posta em prática uma política tecnológica.

A idéia, aqui, no entanto, é aprofundar esta análise, discutindo cada uma das principais críticas dirigidas à política de informática:

• a reserva de mercado criou cartórios que não cumpriram o compromisso de desenvolver tecnologia localmente;

• tudo o que foi e é produzido no Brasil são cópias "pioradas" e mais caras de tecnologias desenvolvidas em outras partes do mundo;

• a indústria brasileira de informática nunca investiu em pesquisa;

• durante o período da reserva, outras indústrias e a pesquisa científica em outras áreas que não a de informática (por exemplo, em física e outras áreas de engenharia) tiveram um retrocesso em virtude da falta de acesso a equipamentos mais sofisticados, fabricados no exterior;

• a política de informática foi exclusivamente de *hardware* e ignorou o aspecto de *software* da indústria;

• durante o período da reserva, o país passou ao largo do desenvolvimento tecnológico da informática que ocorria em toda parte do mundo, dando lugar à "Idade Média tecnológica do país".

Essas questões serão discutidas a seguir.

Cartórios e inexistência de tecnologia

Essa crítica procede e, infelizmente, isto ocorreu em uma escala bastante grande. Talvez um certo nível de "cartorialismo" seja inevitável quando se adota qualquer política protecionista, como foi o caso — bem-sucedido — da indústria japonesa em todas as áreas. Na verdade, este é o preço a ser pago pela conquista da capacitação. No entanto, uma boa fiscalização poderia ter reduzido este "preço" ao mínimo. No "país de uma nota só", este tipo de crítica na época do "o computador é nosso" era considerada traição à pátria, porque "enfraquecia" a imagem da política.

Felizmente, nem tudo foi assim. Chegamos a fazer uma pesquisa informal entre empresários ligados à Associação Brasileira de Indústrias de Computadores (Abicomp) e nos convencemos de que 40% dos seus cerca de 300 sócios eram cartórios, ao passo que 60% deles efetivamente desenvolviam tecnologias. A crítica (e defesa) usual dos empresários, na época, era de que, ao exigir que *tudo* fosse feito no Brasil, a SEI acabou gerando o desespero de alguns que, para sobreviver, passaram a precisar fazer produtos nos quais *nada* era feito no Brasil, incorrendo, mais uma vez, na síndrome do que chamamos a "lei da exclusão do meio".

Tecnologias eram cópias caras

Este tipo de crítica também tem um componente de verdade, e se aplica mais ao aspecto do preço do que ao da originalidade da tecnologia. A proteção do mercado e a baixa produtividade de algumas empresas geraram preços exagerados. No entanto, já há algum tempo, empresas nacionais que atingiram alto padrão de qualidade demonstraram que, sem os impostos, estavam cobrando preços absolutamente competitivos com o mercado internacional e fornecendo produtos tecnologicamente equivalentes (Microtec, por exemplo).

A questão da cópia revela uma certa ingenuidade por parte de alguns críticos. A reserva de mercado para pequenos sistemas aproveitou exatamente uma fase em que, em todo o mundo, todos se baseavam em arquiteturas abertas. Por exemplo, os PCs fabricados nos EUA, no Japão, na Alemanha, na Inglaterra, na Coréia e no Brasil eram exatamente iguais. Isto permitiu o estabelecimento de uma indústria de *software* em todo o mundo (principalmente, 75%, nos EUA). O MacIntosh, da Apple, é o único exemplo bem-sucedido de uma tecnologia alternativa à arquitetura PC.

Isto não significa que os engenheiros brasileiros de muitas (da maioria) das indústrias de informática não tivessem competência para conceber produtos alternativos, ou até melhores. Presenciamos situações em que protótipos foram desenvolvidos com tecnologia totalmente original e com diversas vantagens sobre os concorrentes, mas não foram levados ao mercado com base na decisão gerencial — provavelmente correta — de que nenhuma empresa brasileira tinha cacife para

impor novos padrões ao mercado. A nossa mensagem neste ponto é a seguinte: afirmar-se que só se fabricavam cópias parece implicar (muitas vezes esta intenção é clara) que, tecnologicamente, não tínhamos competência para fazer coisa melhor, ou seja, que estávamos tecnologicamente atrasados. Isto não é verdade.

O engenheiro médio das indústrias brasileiras de informática tinha — e os que restaram ainda têm — o mesmo padrão técnico dos engenheiros de outros países e, inclusive, trabalhava usando sistemas de desenvolvimento iguais, cuja importação era aprovada pela SEI. Infelizmente, contudo, naquela época, as universidades não tinham acesso ao mesmo tipo de tecnologia usada pela indústria no país.

A indústria brasileira de informática nunca investiu em pesquisa

Isto não é verdade. Aqueles 60% a que nos referimos anteriormente investiram, e muito, em pesquisa tecnológica em suas empresas. O que se pode dizer é que a indústria brasileira de informática — nem mesmo aqueles 60% — nunca teve a clarividência de procurar trabalhar cooperativamente com as universidades. Ao contrário, tiveram uma atitude predadora, fazendo uma concorrência desleal em termos de salários, em uma fase em que os grupos universitários ainda não estavam consolidados e o número de docentes qualificados era muito pequeno. Com a quantidade de docentes que existe hoje e as estimativas para o futuro (ver seção 4) o problema não seria tão grave, embora a universidade ainda não esteja pagando salários dignos.

Na verdade, os raros casos de investimentos em universidades e institutos de pesquisa visaram apenas a promoções institucionais de empresas que chegaram a usar incentivos fiscais para este fim. Este tema nos leva ao famoso art. 22 da Lei de Informática. Por ele, empresas multinacionais instaladas no Brasil deveriam investir 5% de suas receitas em *pesquisa científica e tecnológica* em informática. Mais uma vez, o governo não acompanhou a implementação dessa meta, e os recursos previstos resultaram na distribuição de equipamentos e *software* para universidades, destinados a projetos, no mínimo, discutíveis, servindo, principalmente, para a promoção institucional daquelas empresas. Menos mal se algum investimento foi feito em universidades, mas muito mais poderia ter sido alcançado se o espírito da legislação — investimento em pesquisa — tivesse sido observado. Um fato positivo foi que a obrigação legal levou, por exemplo, a IBM a instalar um centro científico no Brasil, o que dificilmente teria ocorrido de forma espontânea. A política de informática passaria (passará?) a ter um grande mérito quando, por exemplo, a IBM/Brasil ou outras empresas multinacionais forem capazes de argumentar com as suas co-irmãs em todo o mundo que seus centros científicos no Brasil se justificam para toda a organização, em função da possibilidade de aproveitamento da competência tecnológica existente no país.

A indústria e a pesquisa brasileira em geral perderam com a reserva

Este é outro argumento que tem muitos aspectos válidos. Inevitavelmente, ao se estabelecer uma reserva de mercado para tecnologias estratégicas, paga-se um preço enquanto a capacitação tecnológica local não é conquistada. Novamente, é possível minimizar o preço a ser pago, mas a "lei da exclusão do meio" não permitiu que isto fosse feito.

Teria sido possível identificar interesses industriais estratégicos para o país e estabelecer exceções à regra de que *rigorosamente tudo* deveria ser feito no país. Por outro lado, deveria ter sido mantida a livre importação de equipamentos com a finalidade de pesquisa científica e tecnológica e de desenvolvimento real de sistemas e *software* na indústria.

Quando esses argumentos eram levados à antiga SEI, a resposta era que importações eram possíveis nos dois casos. Na prática, contudo, quando um setor industrial demonstrava interesse em importar alguma coisa, sempre surgia uma empresa nacional com a "vaga intenção" de fabricar a mesma coisa, e a importação era bloqueada. No caso de instituições científicas, a burocracia simplesmente inviabilizava a importação. Era como se a presença de tecnologia de ponta na universidade fosse capaz de ofuscar a incipiente tecnologia nacional.

A política de informática foi exclusivamente de *hardware*

Isto é rigorosamente verdade, e foi, por assim dizer, uma falha técnica da política. Não queremos dizer com isto que se justificaria uma "reserva de mercado para *software*" porque, para se promover competência nessa área, a palavra-chave é *fomento*. Estímulos comparáveis aos que foram dados às empresas de *hardware*, além de outros diferenciados (por exemplo, empréstimos muito favorecidos), poderiam ter acontecido. O Estado pode funcionar como investidor de risco em empresas de *software*, gerando grandes contratos para fortalecer a empresa local. Mais do que na área de *hardware*, as chamadas *joint ventures* ou "alianças estratégicas" são indispensáveis na área de *software*. O mercado mundial de *software* compra desenvolvimento em toda parte do mundo. Esse tema será retomado em O cenário internacional, na seção 5.

O período da reserva foi a "Idade Média científica e tecnológica" do país

Deixamos esta questão propositadamente para o final porque ela parece refletir o equívoco mais usual a respeito do estado-da-arte da computação no Brasil. De uma certa maneira, esta pergunta foi sendo respondida a partir da análise de algumas estatísticas (na seção 4) e de algumas das discussões anteriores. Na verdade, usamos a metáfora da Idade Média justamente para recordar um conhecido erro de avaliação da história que foi sendo gradualmente corrigido. O período da reserva não foi, como também não foi a Idade Média, de obscurantismo científico.

O que causa tristeza diante de tantos progressos que a área acadêmica de computação conseguiu nessa época é que isto ocorreu em função apenas das pressões do mercado. A existência abundante de empregos qualificados no mercado trouxe excelentes alunos para todos os programas acadêmicos de computação, forçando o sistema universitário a pressionar os órgãos de fomento para conseguir um apoio mínimo com o objetivo de manter e incrementar programas de qualidade. Isto foi feito quase à revelia, ou apesar, dos governos.

Se, de fato, a política de informática tivesse sido plenamente implementada, teria havido um investimento em ciência e tecnologia neste setor, compatível com a política industrial colocada em prática. Ou seja, se houve resultados positivos, eles poderiam ter sido muito maiores e, até, irreversíveis (a comunidade científica de computação, apesar de fortalecida pela existência de uma indústria local — pelo menos por algum tempo —, ainda é tão frágil quanto qualquer outra no país e pode ser desmantelada sem grande esforço).

É exemplo da paradoxal baixa prioridade dada pelos governos ao desenvolvimento científico e tecnológico na vigência da política de informática, entre 1975 e 1992, o fato de que a informática sempre manteve a mesma posição relativa no orçamento de agências como o CNPq, a Finep e a Capes. Talvez o truque para minimizar o problema da baixa prioridade tenha sido chamar de informática a quase tudo. Mas nem sempre isto foi possível, porque enquanto áreas da engenharia foram apoiadas pelo PADCT, a informática não podia se candidatar a estes recursos porque interesses estranhos ao país não permitiam o apoio à área.

Para concluir esta seção, é possível afirmar que o saldo da reserva de mercado (que aqui confundimos propositalmente com política de informática) foi uma indústria que ainda não acabou de ser sucateada e uma comunidade científica atualizada e muito ativa, capaz de redirecionar a política de informática do país e de implementá-la.

5. Evolução previsível da área de computação no Brasil

O objetivo desta seção é discutir os motivos pelos quais, em todo o mundo, a ênfase da indústria de informática se desloca do *hardware* para o *software*. Há grandes oportunidades para o Brasil neste novo cenário e algumas iniciativas já vêm sendo tomadas no âmbito tanto do governo quanto da iniciativa privada nesta direção.

De uma política de hardware *para uma política de* software

O cenário internacional

Como já foi dito, a política brasileira de informática, por mais de uma década e meia, foi essencialmente voltada para o *hardware*. Vários motivos concorreram para isto. Um deles foi que este período coincidiu com o início da estruturação da indústria internacional de *software* e a questão não era, em geral, bem conhecida.

Foi mais fácil convencer o empresário típico de que fabricar equipamentos para um mercado reservado era um negócio mais seguro e compreensível do que investir na inteligência de um grupo de jovens brilhantes que produzem um produto intangível: o *software*. Os empresários atípicos, no caso do *software* — técnicos muito competentes que se tornaram empresários —, começam a surgir agora no país (os donos das duas maiores empresas do mundo nesta área, Microsoft e Borland, satisfazem este perfil). O que se propõe nesta seção é que não se repita um erro do passado, ao inverso. Ou seja, a ênfase no apoio ao *software*, ignorando o *hardware*. Acreditamos que a indústria de *hardware* precisa ser repensada em um novo quadro de parcerias como, de resto, já se discutia em 1990.

No entanto, é necessária a conscientização de que a prioridade deve recair sobre o *software*, sem que isto implique a aplicação da "lei da exclusão do meio". Vamos refletir por quê.

O *software* é uma tecnologia essencial para todas as áreas do conhecimento. Empresas privadas, governos e outros setores da tecnologia requerem *software* complexo para sua operação. A indústria mundial de computação é, talvez, o negócio mais competitivo da história contemporânea, e seu componente de *software* se tornou a força principal por trás da inovação, tanto em *software* propriamente dito quanto em *hardware*.

Apesar de sua importância, a tecnologia de *software* não está tão estabelecida quanto outras disciplinas da área de computação, e representa um risco industrial considerável. Na verdade, esta tecnologia, que é essencial, está até mais atrasada do que as demais tecnologias da computação. Há um entendimento precário sobre seu processo de desenvolvimento, e faltam ferramentas para reduzir o custos do desenvolvimento, os quais, paralelamente, estão crescendo. No meio tempo, as aplicações de *software* estão se ampliando e se tornando mais complexas, e a demanda por *software* está crescendo em um ritmo que excede em muito a oferta. Por exemplo, em 1990, houve uma escassez de especialistas em *software* estimada em um milhão de pessoas nos EUA, e em 600 mil no Japão.

Existe um consenso de que a causa da chamada "crise do *software*" se deve ao alto custo do produto, à necessidade de uma maior produtividade e à variação da prática. A variação da prática se manifesta de muitas maneiras diferentes. A formação acadêmica dos especialistas que trabalham na indústria varia muito e a prática corrente mostra que a maior parte do tempo gasto no desenvolvimento se concentra na codificação (estudos mostram que a maior concentração de erros em *software* ocorre na fase inicial de especificação).

A variação da prática também se relaciona ao fato de que tecnologias desenvolvidas no ambiente de pesquisa levam muito tempo para serem transferidas para o ambiente industrial (tipicamente, 17 anos entre a idéia original e a sua

comercialização e aceitação pelo mercado). Parte do problema está relacionado à dificuldade de aplicar em problemas reais soluções desenvolvidas para a pequena escala do laboratório (*scaling up*). Estudos recentes, realizados em várias partes do mundo (Lucena, 1993), recomendam uma fertilização cruzada entre a academia e a indústria na área de *software*. Alguns vão ao extremo de apontar o *software* como uma tecnologia que não pode se desenvolver sem esta interação (Computer Science and Technology Board, 1989).

A comunidade científica de computação no Brasil cobre hoje todas as áreas do conhecimento relacionadas ao *software*, embora nem sempre com a massa crítica desejável em uma mesma instituição. Muitos argumentos já foram usados para justificar por que o país deveria investir pesadamente em *software*. Uma coincidência nos levou a elaborar o argumento a seguir. Uma consulta ao *Citation Index* revelou que o Brasil gera cerca de 1% da produção científica mundial (expressa em publicações). Se o país conseguisse também exportar 1% do que é consumido pelo mercado mundial de *software*, este produto seria, de longe, o maior item de exportação do país. Esta analogia merece ser ponderada, porque *software* e publicações têm muitas características comuns. Além disso, o cientista que publica no exterior precisa também entender bastante de *marketing*, quando nada, para conquistar internacionalmente um espaço na sua área. Em outras palavras, não parece ser escasso no país esse tipo de talento para atender as especificações do "mercado" internacional e nele vender uma expressão da produção científica e tecnológica.

Ações relevantes do governo na atualidade: três iniciativas que trazem esperanças para a área de computação

Em situação precária desde os anos 80, a área de ciência e tecnologia ficou virtualmente paralisada desde 1990. Não é de surpreender a inexistência, hoje, de entusiasmo por parte da comunidade científica e a ausência de ações governamentais relevantes. O ministério vive de "apagar incêndios" mensais.

Na área de legislação ainda não existe uma regulamentação da lei de informática que permita, por exemplo, algum planejamento da área tecnológica com base nos incentivos fiscais e obrigatoriedade de investimentos previstos na lei. A legislação sobre *software* simplesmente não caminha.

Existem, no entanto, três iniciativas relevantes para a área de informática que devem ser apoiadas na forma em que se encontram, e que merecem sofrer desdobramentos. A primeira é o novo foco do programa de recursos humanos para áreas estratégicas (RHAE), que, para a informática, no momento em que este artigo estava sendo escrito, anunciava que "está tentando criar uma nova cultura de projetos de pesquisa voltados para a transferência tecnológica para a indústria".

É de se supor que isto não ocorrerá exclusivamente através da concessão de tipos variados de bolsas de estudos e que, se acoplado a outras formas de financiamento, poderá redundar em benefícios importantes.

O segundo é o estudo do qual este trabalho faz parte, que pretende reformular o programa PADCT. Desta vez, as prioridades deveriam emergir de dentro para fora do país e definir algum modelo de política tecnológica. A priorização da tecnologia de *software* aqui proposta levanta, mesmo, um aspecto muito importante. Uma política tecnológica para o *software* não se restringe a atividades de engenharia. Ao contrário, ela permite um esforço bem mais amplo do qual a matemática e as ciências naturais naturalmente fazem parte. A absoluta interdisciplinaridade do *software* dá margem, inclusive, à ativação de várias áreas das ciências sociais, das quais a área de gerência é a mais óbvia.

A terceira iniciativa é o projeto Desi (Desenvolvimento Estratégico da Informática). Pela sua importância e abrangência, este projeto será discutido em separado.

O projeto Desi — Desenvolvimento Estratégico da Informática

Em sua forma atual, o projeto Desi é conduzido em parceria pelo CNPq (Diretoria de Projetos Especiais) e pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (Pnud). Este programa tem o mérito geral de combinar projetos surgidos espontaneamente da comunidade científica de computação com:

- um projeto indutor que pretende estimular o surgimento de uma indústria nacional de *software* voltada para a exportação;

- a implantação de uma infra-estrutura nacional de comunicação e computação.

Na nossa opinião, este projeto, descrito a seguir, incorpora a única ação concreta do governo no sentido do desenvolvimento tecnológico da área de informática no país. Hoje, o projeto Desi é o "PADCT" da área de informática. Embora não seja suficiente para desenvolver toda a área, o projeto, como existe hoje, representa uma ação estratégica muito importante.

O projeto Desi é composto por três subprojetos: a RNP, o Protem e o Softex. A RNP e o Protem nasceram espontaneamente da comunidade científica e foram posteriormente associados ao Softex. Historicamente, a RNP é o esforço mais antigo.

A Rede Nacional de Pesquisa (RNP) é uma infra-estrutura computacional baseada na tecnologia de redes de computadores que pretende interligar toda a comunidade de pesquisa científica e tecnológica do país (de todas as áreas) e, por sua vez, interligar a comunidade nacional à comunidade científica internacional. A RNP interliga as redes estaduais de pesquisa que, no seu nível, interligam as instituições estaduais de pesquisa.

Usando a rede é possível, por exemplo, a interação entre cientistas brasileiros de todas as áreas, e a destes com cientistas de todo o mundo, através do correio eletrônico. Torna possível, também, o acesso a bancos de dados internacionais e a repositórios de publicações espalhadas por centenas de universidades em todo o mundo. Os dois exemplos de serviços mencionados já estão disponíveis a todas as unidades de pesquisa no país (departamentos de universidades, por exemplo), que possuam localmente e em seus estados uma infra-estrutura computacional mínima. Brevemente, será também possível o uso de computadores poderosos localizados em alguns pontos do país e no exterior por usuários remotos com poucos recursos computacionais locais.

O Programa Temático Multinstitucional (Protem) é uma iniciativa originária do comitê assessor do CNPq, motivada pela falta de mecanismos semelhantes ao PADCT para a área de informática no Brasil. O CNPq fez um pequeno investimento inicial que permitiu que as principais instituições de pesquisa em computação no Brasil se associassem em torno de temas estratégicos de pesquisa na área e propusessem mais de 100 projetos cooperativos. Se implementado de acordo com a sua concepção original, o Protem pode mudar o patamar de qualidade da pesquisa na área no país. É também ponto fundamental do Protem estimular grupos emergentes a criarem seus programas de pós-graduação, absorvendo os PhDs que estão retornando ao país e aumentando a qualidade e produtividade da pesquisa na área.

O Softex surgiu do reconhecimento de que a exportação de *software* pode vir a ser uma atividade estratégica para o país. Além de dar assistência de maneiras variadas ao atual e ao potencial produtor de *software* sobre como alcançar competitividade no mercado internacional, o Softex se propõe a apoiar diversos núcleos municipais nos quais as indústrias de *software* locais poderão buscar tecnologias atualizadas de desenvolvimento e interação com universidades e institutos de pesquisa.

O projeto Desi integrou os três subprojetos descritos acima para, no prazo de três anos e com um orçamento de US$27 milhões, produzir o seguinte resultado: a pesquisa em computação, alavancada pelo projeto Protem, deverá ampliar o potencial de cooperação da universidade com a indústria e os núcleos municipais (total previsto de 13), localizados onde as atividades de pesquisa e as atividades industriais são intensas no país, funcionando como integradores de ações entre a universidade e a indústria; a infra-estrutura suprida pela RNP viabilizaria a interação de universidades e destas com a indústria, em projetos cooperativos.

Como pode ser depreendido da descrição dos subprojetos RNP, Protem e Softex, cada um deles é mais geral do que o efeito combinado e restrito ao prazo de três anos do projeto Desi. A RNP já vem explorando o impacto do uso de redes na educação em geral e no desenvolvimento de outras tecnologias (como a genética). O Protem não define restrições sobre a área de informática a ser apoiada (o mérito segundo o julgamento dos pares será o mecanismo de decisão) e, portanto, não deverá ficar restrito à área de *software*. O Softex prevê ações programadas em parceria com os municípios e outras agências de fomento (como a Finep), que transcendem sua ação combinada com a RNP e o Protem.

Especificamente, o projeto Desi deverá cuidar de aplicar alguma indução para que seus três subprojetos produzam o sinergismo desejado. Aí reside o maior interesse do Pnud no projeto, uma vez que o modelo que está sendo experimentado no projeto Desi poderá se transformar em um paradigma aplicável a outros países e regiões.

Na seção seguinte serão descritos alguns projetos integradores que pretendem induzir o resultado esperado do projeto Desi.

6. Estratégias para a integração da universidade com a indústria

A existência, hoje, do projeto Desi permite discutir com objetividade como pode ser feita a integração da universidade com a indústria na área de informática, tomando como exemplo a área de tecnologias de *software*, cuja importância para o país foi enfatizada neste trabalho.

Os mecanismos de integração do Desi são projetos que induzem a interligação de seus três subprojetos: RNP, Protem e Softex. Todos têm as características comuns a estes três projetos, já que, depois de um investimento de três anos, eles se transformam em empreendimentos autônomos e automantidos. Segue-se uma apresentação dos projetos e as justificativas sobre como se dá a integração.

Mestrado cooperativo em tecnologias de software

Motivo

Na Inglaterra e no Canadá, a indústria precisa de especialistas como os que estão sendo formados pelo Software Engineering Institute de Carnegie-Mellon, mas descobriu que nenhuma universidade isolada tem competência para fazer isto sozinha. O projeto Júpiter (Modular Master's Degree in Software Engineering) envolve cerca de 10 universidades inglesas e o consórcio canadense também (Waterloo, Toronto, Queens etc.). Parece claro que um programa como este cabe no Brasil e que tem um impacto direto sobre o Protem e o Softex.

Formato do programa

O que distingue este curso dos cursos "normais" é sua forma de condução, que precisa ser adaptada à disponibilidade de tempo de quem trabalha na indústria. Por exemplo, no Canadá, os cursos terão o seguinte formato: n semanas de estudo prévio, x dias de aula tempo integral, m semanas de tarefas e estudos, y dias de aulas em tempo integral e z semanas para o projeto final. O aluno escolhe o que fazer em cada universidade, baseado em um currículo geral.

A RNP pode fazer muito por este programa, promovendo o contato entre professores e alunos durante os períodos de trabalho individual e dando suporte ao desenvolvimento de projetos de *software* educacional. Os professores que atuam no Protem ensinam sobre o que fazem e têm bons projetos de demonstração para motivar os alunos, enquanto o Softex recebe a mão-de-obra e os projetos/protótipos de que tanto precisa.

Implementação

O Desi financiará a coordenação, a preparação do material didático (importantíssimo nesta modalidade de curso), o *software* para uso em aulas práticas etc. O curso será pago pelas indústrias, eventualmente gerando um lucro que pode ser investido no Protem (em projetos de interesse para o curso, por exemplo).

Transferência de software *desenvolvido em universidades brasileiras para o mercado norte-americano*

Motivo

Muitas vezes, tecnologias de *software* desenvolvidas por universidades brasileiras são excessivamente sofisticadas para interessar a empresas no país, as quais, em geral, não têm técnicos capazes de dominar a nova tecnologia (muitos projetos do Protem têm estas características). O mercado de *software* produz janelas de oportunidades que aparecem e desaparecem muito rapidamente no tempo, o que implica que, em certas situações, não há tempo para o treinamento dos técnicos das empresas locais.

A solução do problema pode ser a associação de universidades brasileiras a universidades norte-americanas que já disponham de um mecanismo de interface (fundação, instituto etc.) capaz de conectar os distribuidores de *software* locais e que possam se interessar em se associar a uma tecnologia desenvolvida por uma universidade brasileira.

Formato do programa

A coordenação do Desi ficará encarregada de localizar grupos de universidades norte-americanas interessadas neste tipo de associação e de identificar produtos de universidades brasileiras que possam interessá-las.

O que justifica a associação é o fato de que distribuidores norte-americanos de *software* já confiam em que as interfaces criadas pelas universidades locais (institutos, fundações etc.) são capazes de honrar os compromissos de atualização e manutenção do *software* que eles produzem. Estas interfaces, por sua vez, têm competência estabelecida para receber uma tecnologia de *software* sofisticada,

adaptá-la, documentá-la e mantê-la no futuro (tudo com o apoio do grupo de desenvolvimento original no Brasil). Os donos do projeto original e a interface norte-americana negociariam qual a porcentagem do lucro eventual que cada uma receberia (cada caso será diferente). No futuro, o distribuidor americano saberá ir buscar tecnologias na fonte, ou seja, diretamente com o grupo brasileiro.

Implementação

Para que este projeto seja viável, a coordenação do Desi precisa ter condições de pagar bolsas para alunos brasileiros que iriam passar temporadas nas interfaces americanas, e parte do salário de uma ou mais pessoas da interface, que ficariam responsáveis pelo *software* na instituição. Se o projeto tiver sucesso, como as outras iniciativas do Softex, o lucro dos produtos vendidos manterá o sistema em funcionamento. Este custo pode ser minimizado graças à existência da RNP. Este projeto reforça a ação do Softex e estimula a geração de produtos no Protem.

Software para telecomunicações

Motivo

Software para telecomunicações é uma área estratégica em todas as partes do mundo (vide a participação da Telebrás no Desi). Esta área é a que mais tem investido no uso de métodos rigorosos, e até formais, de desenvolvimento de *software*. Em outras palavras, o padrão de qualidade para entrar no mercado internacional nesta área está se tornando muito alto. Este programa visa conduzir projetos-piloto na área de *software* para telecomunicações que sirvam de paradigma sobre como desenvolver *software* de qualidade nesta área.

Formato do programa

A coordenação do Desi entrará em contato com o CPqD e com a Embratel, para procurar desenvolver alguns projetos-piloto. Talvez haja necessidade de formar ou reciclar alguns técnicos dessas empresas. Por outro lado, a coordenação montará uma equipe interdisciplinar formada por especialistas na associação de métodos formais à engenharia de *software* e por especialistas em telecomunicações. Esses especialistas viriam de diversas universidades brasileiras, e os projetos seriam desenvolvidos no CPqD, ou em conjunto com ele.

Implementação

Caberá à coordenação do Desi contratar a equipe de consultores para o CPqD, seleconada junto às universidades brasileiras. O objetivo final é fazer com

que a área de telecomunicações no Brasil passe a produzir *software* com padrões internacionais de qualidade. Novamente, a integração deste programa com a RNP (consultoria à distância), o Softex e o Protem são auto-explicativos.

Generalização

Acima, procuramos ilustrar, através de exemplos concretos, que têm boas chances de ser implementados, como a integração entre a universidade e a indústria pode e deve ser feita na área de informática. Os exemplos são todos da área de *software* porque o Desi, única iniciativa relevante do governo no setor, atua nesta área. O modelo é bastante geral e pode ser adaptado sem dificuldades para a área de *hardware* e de sistemas, na qual *hardware* e *software* são integrados em uma única tecnologia.

7. Conclusões

Este trabalho analisou a área de computação no Brasil sob diversos aspectos. Foram apresentados um histórico da área e indicadores do seu estágio de desenvolvimento no país, uma análise dos programas de pós-graduação e pesquisa, além de projeções informais da capacitação tecnológica do país no setor.

Em função do histórico da área de computação no país, o estudo se deteve na discussão dos méritos e deméritos da política de informática praticada no país desde 1974 até 1990. Há inúmeras lições que foram aprendidas e que deverão criar condições para uma nova fase da política de informática.

Para discutir o futuro da área no país foi necessário destacar a importância estratégica do *software* e descrever o Desi, única iniciativa relevante na área. O Desi articula três subprojetos independentes e de grande potencialidade para produzir resultados bastante específicos no prazo de três anos. Cada um dos três subprojetos isolados — RNP, Protem e Softex — tem enorme potencialidade, devendo ser institucionalizado de forma independente no futuro. Atividades de todos os três são candidatas naturais a uma consideração à época em que o PADCT for reformulado.

Referências bibliográficas

CNPq/Comitê Assessor de Ciência da Computação. *Relatório sobre a área de computação. Subsídios para a elaboração do orçamento do CNPq para 1993.* 1992.

Computer Science and Technology Board (eds.). *Scaling up: a research agenda for software engineering.* National Research Council, 1989.

Lucena, C. J. P. Avaliação da capacitação técnica e científica das instituições de ensino e pesquisa da área de informática. In: XVI Congresso Nacional de Informática. *Anais.* 1983.

———. *Software technology: research, education and technology transfer.* University of Waterloo Computer Science Department, 1993. (Technical Report CS-93-19.)

———; Santos, C. S. dos & Ziviani, N. *Relatório sobre a pós-graduação em informática até o final de 1985.* Capes, 1986.

Santos, C. S. dos; Ziviani, N.; Cunha, P. & Szwarcfitter, P. *Relatório sobre a pós-graduação em informática.* Capes, 1989.

Soares, Luiz F. G.; Lucchesi, Cláudio; Fonseca, Décio; Navaux, Philippe & Bigonha, Roberto. *Avaliação global da área de computação.* Versão preliminar, 1992. (Reunião anual de avaliação, 1992.)

Ziviani, N. *Avaliação dos programas de pós-graduação da área de informática.* Capes, 1985.

———; Lucena, C. J. P.; Santos, C. S. dos & Cunha, P. *Relatório sobre a pós-graduação em informática.* Capes, 1987.

Engenharia

*Sandoval Carneiro Jr.**

1. Introdução

Este trabalho tem por objetivo analisar o estado atual do ensino de pós-graduação e da pesquisa em engenharia no Brasil, enfocando fundamentalmente os aspectos relativos ao desenvolvimento científico e tecnológico da área. O estudo procura identificar, de um lado, a existência de eventuais lacunas em subáreas que devam ser objeto de ações específicas por parte dos setores responsáveis, e, de outro, as subáreas em que se logrou estabelecer competências expressivas no país.

O estudo foi organizado de forma a analisar detalhadamente as chamadas grandes áreas de habilitação das engenharias, de acordo com a concepção adotada na Resolução nº 48/76 do Conselho Federal de Educação (CFE): engenharias química, elétrica, civil, mecânica, metalúrgica e de minas. Diversas outras subáreas são analisadas em menor detalhe, enquanto outras, como as engenharias de computação, agrícola e de alimentos não foram incluídas.

Inicialmente, é apresentado um breve resumo sobre a evolução e a situação do ensino de graduação em engenharia e sobre sua posição em relação às demais áreas do conhecimento no país. Segue-se um estudo sobre a pós-graduação e a pesquisa, passando-se, então, a uma análise qualitativa e quantitativa das subáreas selecionadas, baseada em documentos elaborados pelos comitês assessores do CNPq e por consultores da Capes além de outros referidos na bibliografia.

O autor gostaria de registrar a colaboração de diversos colegas que contribuíram com informações, críticas e sugestões, nas diversas fases de elaboração deste trabalho: Alberto Claudio Habert (engenharia química), Luiz Pereira Calôba e Edson Hirokazu Watanabe (engenharia elétrica), Flávio Nobre (engenharia biomédica), Paulo Alcântara Gomes e Alberto Sayão (engenharia civil), Antonio Mac-Dowell de Figueiredo e Nisio Brum (engenharia mecânica), Fernando Luiz Bastian e Luís Henrique de Almeida (engenharia metalúrgica), Ricardo Tadeu Lopes (engenharia nuclear). Fernando Espagnolo e Magda Maria Augusta, da Capes, não mediram esforços para fornecer os dados da maior parte

* Professor titular, Coppe e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

das tabelas. As eventuais falhas e omissões são, no entanto, da exclusiva responsabilidade do autor.

2. A graduação em engenharia no Brasil

Evolução histórica

O trabalho da Corte de Portugal para o Brasil em 1808 propiciou o verdadeiro início da vida cultural e científica no país, através da criação ou transferência de diversas instituições relacionadas com a produção e transmissão do saber. Na Real Academia Militar, fundada em 1810, iniciaram-se os primeiros cursos destinados à formação de artilheiros, engenheiros, geógrafos e topógrafos (Carvalho, 1972:137-47). O ensino de engenharia no Brasil remonta, portanto, a 1810 e sua evolução foi bastante lenta e gradual. Em 1874, foi fundada a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, posteriormente incorporada à Universidade do Brasil e, atualmente, Escola de Engenharia da UFRJ.

A Escola de Minas de Ouro Preto foi fundada em 1875 e, junto com a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, estimulou o desenvolvimento de pesquisas geológicas e mineralógicas de qualidade, além da formação de geólogos e engenheiros civis com sólida base técnica e científica. A este esforço viria juntar-se a Escola Politécnica de São Paulo, criada em 1894. De acordo com Carvalho (1972:137-47), durante a Monarquia e início da República, o ensino das ciências exatas e naturais tinha lugar na Escola Militar, na Escola Naval e nas escolas de engenharia e de minas e, ainda, nas de medicina. No período republicano, foram implantados diversos laboratórios de serviço no campo da metrologia, astronomia, geologia e mineralogia, além de institutos de pesquisa abrangendo diversos setores do conhecimento como o estudo das moléstias tropicais e epidêmicas, a biologia, a biofísica, a zoologia, a agronomia etc. Muitas dessas instituições foram criadas graças ao esforço e abnegação de algumas pessoas, e várias foram mantidas devido ao idealismo e perserverança de professores e dirigentes. É o caso, por exemplo, da Escola Superior de Agricultura e Veterinária de Viçosa (fundada em 1927), que, na década de 40, já enviava jovens professores para fazer mestrado e doutorado no exterior.

Somente em 1934 é que foi criada a Universidade de São Paulo, a primeira do Brasil, seguida, em 1937, da Universidade do Brasil, hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Vários outros centros universitários foram sendo criados nos demais estados da federação, freqüentemente através da reunião de escolas superiores isoladas, gerando problemas que perduram até hoje (Kelly, 1972:151-67).

Nas últimas décadas, merece destaque a criação de duas instituições de ensino superior: o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em 1950, e a Universidade de Campinas (Unicamp), em 1967. Ambas contribuíram de

forma significativa para a melhoria do ensino de graduação e para a implantação da pós-graduação em engenharia, além de criarem condições para o desenvolvimento de indústrias locais com tecnologia de ponta e de institutos de pesquisas tecnológicas.

A formação de engenheiros

De acordo com Danna et alii (1991), havia no Brasil, em 1991, cerca de 300 mil engenheiros em atividade, para uma população economicamente ativa (PEA) de cerca de 60 milhões de pessoas, em uma proporção de cinco engenheiros para cada 1 mil pessoas da PEA. O Japão e os Estados Unidos, com 25 engenheiros para cada 1 mil trabalhadores, a Inglaterra, com 23 e a Alemanha, com 22, têm um índice mais de *quatro* vezes superior ao do Brasil.

Uma comparação com as demais áreas do conhecimento sugere que este é um quadro difícil de ser alterado. Dados de 1988 do MEC, que compõem a tabela 1, indicam que apenas 9,7% de todos os alunos de graduação estavam matriculados em cursos de engenharia ou tecnologia, comparados a, por exemplo, mais de 38% nas áreas de ciências sociais aplicadas, o que dá uma relação de *um* engenheiro para quase *quatro* cientistas sociais. Nos Estados Unidos, ao contrário, formaram-se, em 1988, 70.406 engenheiros e 69.861 cientistas sociais, configurando uma relação de praticamente *um* para *um*. Quase *metade* dos engenheiros formados no país opta pela habilitação em engenharia civil, o que se reflete na distribuição dos engenheiros ativos (tabela 2). Enquanto nos Estados Unidos apenas 14,2% dos engenheiros são civis, no Brasil, cerca de 45,5% do total de engenheiros ativos são civis, muitos dos quais trabalham em empresas de setores industriais como eletroeletrônica, mecânica e química (Iida & Rocha Neto, 1990), do que se deduz que, freqüentemente, desempenham funções que extrapolam a sua formação profissional.

Tabela 1
Número de alunos matriculados em cursos de graduação no Brasil, por grandes áreas de conhecimento

Grandes áreas	Alunado de graduação	%
Ciências sociais aplicadas	578.067	38,5
Ciências humanas, letras e artes	410.173	27,3
Ciências da saúde	172.038	11,4
Ciências básicas	155.783	10,3
Engenharia/tecnologia	*145.914*	*9,7*
Ciências agrárias	41.585	2,8
Soma	1.503.560	100,0

Portanto, além do baixo número de profissionais, a engenharia no Brasil padece de uma séria distorção entre as diferentes subáreas, com predominância clara da engenharia civil.

Tabela 2
Distribuição dos engenheiros nos EUA e no Brasil

Áreas/engenheiros	EUA		Brasil	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Civil	319.100	14,2	134.058	45,4
Elétrica/eletrônica	540.800	24,0	40.731	13,8
Mecânica	453.700	20,3	42.414	14,4
Química	131.500	5,9	5.476	1,8
Aeronáutica	104.200	4,6	1.307	0,4
Outros	694.200	31,0	71.509	24,2
Soma	2.243.500	100,0	295.495	100,0

Fontes: NSF, Science & engineering indicators, 1987 e MEC/Sesu, 1986.

As áreas de graduação em engenharia são regulamentadas pela Resolução nº 48/76 do CFE, que introduziu um currículo mínimo para cada uma das seis grandes áreas de habilitação: civil, elétrica, mecânica, química, minas e metalurgia. Embora esta estrutura admita alguma flexibilidade através das habilitações com ênfases específicas, e ainda através de algumas habilitações especializadas, derivadas das áreas básicas (por exemplo, engenharia naval, originária da engenharia mecânica), não há dúvida de que a Resolução nº 48/76 se tornou inadequada e precisa ser substituída por um instrumento mais flexível, de maneira que a formação de engenheiros se articule melhor com o processo de evolução tecnológica e com as exigências do mercado de trabalho (Iida & Rocha Neto, 1990).

Em março de 1993, o secretário nacional de Ensino Superior reativou a Comissão de Especialistas do Ensino de Engenharia, que se dedicou à revisão da Resolução nº 48/76 e ao planejamento de metodologias de avaliação dos cursos de graduação em engenharia. Além disso, a implantação da autonomia universitária deverá conduzir a maiores flexibilidade e agilidade das escolas de engenharia na modernização de suas estruturas curriculares.

3. A pós-graduação em engenharia no Brasil

Evolução histórica

O primeiro curso formal de pós-graduação *stricto sensu* na área das engenharias foi criado em 1961 no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), que organizou um mestrado em sistemas de controle, nos moldes das universidades americanas. A participação expressiva de professores em regime de tempo integral envolvidos com pesquisas tecnológicas e a interação com o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) contribuíram para atrair alunos de todo o país para a graduação. Muitos desses alunos tiveram sua vocação para a pesquisa e ensino despertada no ITA, prosseguiram com seus estudos de pós-graduação no exterior ou no país, vindo, mais tarde, a participar da criação de vários centros de pós-graduação, notadamente na UFRJ, UFPb e Unicamp.

Em 1963, foi implantado o mestrado em engenharia química no Instituto de Química da UFRJ, ministrado em conjunto por professores brasileiros e da Universidade do Texas, com o apoio da Fundação Rockfeller e da Comissão Fullbright. O curso despertou grande interesse, o que levou à criação de novos programas de pós-graduação, em especial da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (Coppe), em 1965.

Ainda em 1965, foi criado o Fundo de Tecnologia do BNDE (Funtec), cujo primeiro financiamento foi concedido à Coppe. Graças ao apoio contínuo do Funtec e, posteriormente, da Finep, e ao interesse na pós-graduação, a Coppe expandiu-se rapidamente e, em 1970, já contava com 10 programas de pós-graduação, 88 docentes e mais de 600 alunos. Análises da evolução da Coppe (Carneiro Jr. & Bartholo, 1984; Carneiro Jr., 1990) mostram a importância desta instituição como centro formador de jovens professores para universidades brasileiras e da América Latina. Mostram, ainda, a interação da Coppe com o setor produtivo, sobretudo através dos centros de pesquisa de empresas estatais.

A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento

A implantação dos cursos de pós-graduação nas engenharias ocorreu de forma bastante distinta da evolução dos cursos de graduação.

Muitos foram os condicionantes que levaram ao rápido crescimento da pós-graduação: a criação de incentivos para a dedicação integral ao ensino e à pesquisa; o acesso a financiamentos externos e, posteriormente, internos; o aumento da população estudantil, com a conseqüente necessidade de formação de docentes; a adoção de políticas de governo direcionadas para o desenvolvimento científico e tecnológico; pesados investimentos na modernização

de setores básicos para a industrialização, como energia elétrica, telecomunicações etc.

A preocupação com a velocidade de criação de novos cursos deu origem à implantação do processo de avaliação da Capes, bastante criticado em diversos segmentos da comunidade universitária à época de sua criação. No que concerne à posição recente das engenharias perante as demais áreas do conhecimento, os dados revelam que elas respondem por 17,4 e 16,3% do total de alunos de mestrado e doutorado, respectivamente (tabela 3), percentual bem mais expressivo do que o da graduação (tabela 1), inferior a 10%. Nos Estados Unidos, contudo, as engenharias concentram 35,8% dos titulados com mestrado (1988) e 21% (1989) dos com doutorado, quase o dobro da participação das engenharias no Brasil: 18,2% dos titulados com mestrado e 12,1% dos com doutorado.

Tabela 3

Pós-graduação — alunado por área e nível — 1991

Área	Titulados		Total alunos	
	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado
Ciências exatas e da terra	1.001	255	4.302	2.048
Ciências biológicas	622	215	2.708	1.594
Engenharias	*1.176*	*173*	*6.290*	*1.912*
Ciências da saúde	795	300	4.973	1.869
Ciências agrárias	677	96	3.492	825
Ciências sociais aplicadas	700	117	4.844	1.251
Ciências humanas	1.154	200	7.105	1.981
Lingüística, letras e artes	332	79	2.512	267
Total geral	6.457	1.435	36.226	11.747

Fonte: Capes/DAV/DED.

Quanto ao corpo docente (tabela 4), as engenharias contam com 2.883 docentes de um total de 28.943, ou seja, pouco menos de 10%, o que implica uma relação aluno/professor maior do que a média das demais áreas do conhecimento.

Tabela 4

Corpo docente na pós-graduação em 1991

Área	Total docentes	Total doutorado	Docente permanente	Docente permanente c/ doutorado	Docente permanente orientador	Docente permanente em treinamento
Artes	246	158	200	133	94	29
Ciências biológicas	1.793	1.581	1.178	1.052	622	109
Ciências fisiológicas	1.655	1.475	1.194	1.925	634	151
Ciências exatas e da terra	4.082	3.579	2.884	2.619	1.712	402
Ciências humanas	4.431	3.664	3.226	2.749	2.223	321
Engenharias	*2.883*	*2.174*	*2.128*	*1.635*	*1.290*	*355*
Ciências agrárias	4.341	3.242	2.850	2.159	1.450	313
Ciências saúde	6.765	5.214	4.287	3.375	2.045	307
Ciências sociais aplicadas	2.747	1.901	1.889	1.321	1.050	257
Total	28.943	22.988	19.746	16.068	11.120	2.244

Fonte: Capes/DAV/DED.

No que diz respeito à produção científica, é necessário cautela ao comparar-se as áreas de conhecimento, não só pelos diferentes estágios de desenvolvimento em que se encontram no Brasil, como (e principalmente) pelas especificidades próprias a cada área. Comparando-se, por exemplo, o acesso a veículos consolidados de divulgação científica no país, a quantidade de trabalhos publicados em revistas nacionais nas áreas de ciências da saúde (3.122), agrárias (1.901) e sociais aplicadas (1.021) indica a presença de diversas sociedades científicas, consolidadas há algum tempo; nas engenharias, as poucas sociedades atuantes são mais recentes e vêm dando maior ênfase à organização de congressos no país (1.722 trabalhos) do que à edição de revistas.

Outro aspecto importante está relacionado com as formas de transferência dos resultados da produção intelectual à sociedade. Nas engenharias, a transferência para o setor produtivo, do conhecimento gerado através de estudos tecnológicos, ainda que sem a geração de patentes, é da maior importância, mas não é considerada nas avaliações das agências de fomento. Seria possível obter uma indicação do volume dessas atividades através do valor dos contratos de consultoria e convênios (Carneiro Jr., 1990), mas poucas instituições têm condições de fornecer os dados necessários.

Entre os indicadores de produção científica aqui utilizados, a produção de teses talvez seja menos sujeita aos condicionamentos já citados, o que é corrobo-

rado pela participação relativa das engenharias nas teses: 17,07% do total de mestrado e doutorado, equiparável a 17,04% do total de alunos (tabela 3). Comparada com outras áreas, as relações tese/docente-orientador e tese/total de alunos nas engenharias são, respectivamente, 0,92 e 0,19, considerando o mestrado apenas, enquanto são de 0,63 e 0,20 nas ciências humanas, e de 0,57 e 0,23, nas ciências exatas e da terra. Assim, embora cerca de 20% dos alunos de mestrado nessas três áreas tivessem apresentado tese ou dissertação em 1991, a relação tese/docente-orientador variou bastante, revelando-se nitidamente mais favorável nas engenharias. Agregando-se todos os indicadores de produção científica — excetuando-se aqueles relativos às teses — e relacionando-os com o número de docentes-orientadores, obtém-se um indicador produção total/docente-orientador de 2,42 para as engenharias, de 1,69 para as ciências humanas e de 2,12 para as ciências exatas e da terra. Ambos os indicadores refletem a maior produtividade das engenharias quando comparada com as ciências humanas e exatas e da terra.

Algumas conclusões podem ser tiradas a partir das análises desta seção:

- a pós-graduação em engenharia tem uma posição destacada em relação às demais áreas do conhecimento em contraste com a graduação, onde a posição das engenharias é bem menos favorável;

- as relações aluno/professor, tese/docente-orientador e produção total/docente-orientador refletem a maior eficiência das engenharias quando comparadas com duas áreas do conhecimento, uma mais próxima (ciências exatas), e outra mais distante (ciências humanas).

A pós-graduação em engenharia no Brasil no contexto das suas diversas subáreas

Na pós-graduação, o quadro é bastante diferente do da graduação, onde foi constatada a forte concentração de alunos na engenharia civil. A engenharia elétrica surge como a opção mais freqüente, com 25,4% do total, seguida das engenharias mecânica (16%) e de produção (14,9%). A engenharia civil aparece em quarto lugar, com 12,6%, equivalente a cerca da metade do alunado da engenharia elétrica.

4. Engenharia química

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes, no biênio 1990/91 existiam apenas nove cursos de pós-graduação, dos quais somente cinco ofereciam doutorado. A maioria dos cursos tinha um corpo docente consolidado, exceto na UFRN e na UFPb onde, apesar de terem sido implantados em 1988, docentes não-doutores ainda estavam matriculados na pós-graduação. Em 1991, formaram-se apenas 89 mestres e 12 doutores, número muito aquém das necessidades do país.

A produção científica é também modesta, sobretudo no que se refere a publicações em revistas internacionais. Com um índice de 0,20 de trabalho por docente-doutor (correspondente a 22 artigos publicados em revistas internacionais) e um índice de produção total/docente de 1,62 em 1991, a engenharia química se situa bem abaixo da média de 2,42 para as engenharias. A assimetria entre os diversos grupos é muito grande. No extremo superior, está a UFRJ/Coppe, com produção/total em 1991 superior a 3,13 e, no extremo inferior, a UFRN, com um índice próximo a 0. Em 1991, a subárea registrou apenas três pedidos de patentes ou protótipos, o que é muito pouco tendo em vista o caráter experimental de boa parte das linhas de pesquisa.

A tabela 5 apresenta a distribuição dos pesquisadores que recebiam bolsas de pesquisa do CNPq em maio de 1992. Embora o sistema de bolsas de pesquisa do CNPq não atinja todo o universo de pesquisadores, dos 111 docentes doutores da subárea, 48 estavam no sistema em maio de 1992, a maior parte classificada na categoria II, nível C, indicando uma quantidade expressiva de recém-doutores ingressando numa "carreira de pesquisa" bastante disputada e sujeita a avaliação pelos pares.

Tabela 5
Bolsista de pesquisa do CNPq: engenharia química
(maio 1992)

Nível	Categoria I	Categoria II
A	6	3
B	6	7
C	5	21
Total	17	31

Atuação em pesquisa nas universidades

Segundo Perlingeiro (Seplan/CNPq, 1983) as atividades de pesquisa desenvolvidas nas universidades abrangiam, já em 1982, praticamente todo o espectro da engenharia química.

Atualmente, os campos de atuação das diversas instituições estão assim distribuídos:

• termodinâmica aplicada a sistemas químicos — UFBA, UFRJ/Coppe, USP e Unicamp;

• cinética e catálise e reatores químicos — UFRJ/Coppe, UFSCar, Unicamp, UFBA e USP;

• processos bioquímicos — UFRJ/Coppe e EQ, USP, UFSCar e Unicamp;

• fenômeno de transporte — UFRJ/Coppe, UFSCar e USP;

• operações unitárias e processos de separação — UFRJ/Coppe, USP, Unicamp, UFSCar, UFBa e UFRN;

• modelagem, simulação e controle — UFRJ/Coppe, USP, Unicamp e UFSCar.

Embora as linhas de pesquisa acima estejam sendo desenvolvidas em mais de uma instituição, existem certos tópicos que, dada a importância das indústrias químicas e de alimentos já existentes no país, deveriam ser objeto de ações específicas de fomento, especialmente:

• fenômenos de superfície (emulsões, colóides, cristalização etc.);

• reologia (fluidos não-newtonianos, escoamento e agitação, sistemas bi ou trifásicos);

• processos eletroquímicos;

• processos biotecnológicos;

• controle da poluição ambiental.

Várias dessas linhas são interdisciplinares, em consonância com a tendência do desenvolvimento recente nas engenharias.

O comitê assessor de engenharia química propôs um plano de metas físicas e orçamentárias para 1993, com um orçamento global de cerca de US$4,8 milhões, excluindo bolsas no país e no exterior. O comitê estima, ainda, um custo unitário para os auxílios individuais de US$20.000,00. Agregando-se a este valor uma participação em congresso nacional por ano e uma em congresso internacional a cada dois anos, chega-se a um montante de US$23.000,00 anuais necessários para assegurar uma participação ativa na área. O comitê recomendou, ainda, a concessão de 50 bolsas de doutorado e 10 de pós-doutorado no exterior.

5. A subárea de engenharia elétrica

Situação geral da subárea no país

Como foi mencionado, entre as diversas subáreas da engenharia, a elétrica é a que concentra o maior número de cursos e pesquisadores. Segundo a Capes, no biênio 1990/91 existiam 19 cursos de pós-graduação, dos quais sete ofereciam mestrado e doutorado e 12 apenas o mestrado.[1] Em diversos cursos, o número de doutores é bem menor que o de docentes permanentes, indicando uma presença expressiva de não-doutores na pós-graduação. Dos 19 cursos, 11 são consolidados no nível de mestrado e apenas três em nível de doutorado (UFRJ/Coppe, Unicamp e PUC/RJ).

Em 1991, 309 alunos completaram o curso de mestrado e 48 o de doutorado. Embora significativos, quando comparados com os das demais subáreas, esses números são ainda insuficientes para atender às necessidades apenas dos cursos de graduação no país, sem levar em conta os demais setores da economia. Segundo dados do CNPq, em maio de 1992, havia 120 bolsistas de doutorado e cinco de pós-doutorado no exterior. Calculando em quatro anos o tempo médio de titulação, estima-se o retorno de cerca de 30 recém-doutores a cada ano, número que, acrescido dos titulados no país (48 em 1991), aponta para uma situação de grande dinamismo da engenharia elétrica, com a titulação de mais de 70 doutores a cada ano.

Em 1991, a produção científica em revistas internacionais totalizou 79 artigos: cerca de 0,19 trabalho por docente-doutor, índice nitidamente abaixo do potencial da subárea. O índice produção total/docente-doutor, por sua vez, era de 1,71, situando a engenharia elétrica abaixo da média das engenharias.

Ainda em 1991, houve 23 pedidos de patentes e protótipos, provenientes, sobretudo, da Faculdade de Engenharia Industrial (FEI), com oito pedidos, e do Instituto Militar de Engenharia (IME), com cinco pedidos. Embora ambos os cursos enfrentem problemas para se consolidar, fica claro que sua vocação para desenvolvimento (P&D) se sobrepõe à dimensão acadêmica.

A distribuição dos pesquisadores que recebiam bolsas de pesquisa do CNPq, em maio de 1992 (tabela 6), revela aspectos interessantes quando comparados aos de outras subáreas. Tomando como exemplo a engenharia química, onde quase metade dos docentes doutores estava no sistema, na engenharia elétrica apenas 98 dos 409 docentes doutores recebem bolsa de pesquisa. O percentual de pesquisadores na categoria I também é bem mais baixo na engenharia elétrica do que na química. Não há motivo aparente para essas discrepâncias, pois ambas são áreas tradicionais e enfrentaram processos de implantação muito semelhantes.

[1] O curso de telecomunicações da Universidade Mackenzie (UM) foi considerado como mestrado apenas, por ser ainda incipiente e por não ter qualquer aluno de doutorado.

Este aspecto decorre da utilização de critérios de avaliação bastante distintos pelos comitês assessores, com o CA da engenharia elétrica atuando com maior rigor, pelo menos no que diz respeito à classificação nos níveis mais altos da "carreira de pesquisa", conforme já observado por Nussenzweig (1993).

Tabela 6
Bolsistas de pesquisa do CNPq: engenharia elétrica e biomédica

Nível	Categoria I	Categoria II
A	3	22
B	6	28
C	8	31
Total	17	81

Fonte: CNPq, maio de 1992.

Atuação em pesquisa

Optou-se, nesse estudo, por dividir a engenharia elétrica nos seguintes setores: eletrônica e microeletrônica, sistemas de energia, eletrônica de potência, telecomunicações, e sistemas de controle. O grau em que cada um deles é coberto pelos diferentes cursos de pós-graduação varia bastante:

• eletrônica e microeletrônica — excetuando-se a Universidade Mackenzie (UM), os outros 18 cursos atuam neste setor. Na área de microeletrônica, os principais grupos estão na Unicamp e na USP; na área de eletrônica, os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, na UFSC e na Unicamp;

• sistemas de energia elétrica — também conhecido como sistemas de potência, este setor conta com grupos atuantes em quase todos os cursos, excetuando-se o ITA, a UFPe e a FEI. Os grupos mais ativos estão na Unicamp, UFRJ/Coppe, PUC-RJ e UFSC, entre outros; no setor de máquinas elétricas, destacam-se as equipes da USP (Politécnica) e da UFSC;

• telecomunicações — os principais grupos estão na Unicamp e na PUC-RJ;

• controle — abrange controle e automação — ambas de caráter interdisciplinar — e os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, Unicamp, UFSC e USP-SP, ainda que muitos processos automatizados sejam cobertos pela eletrônica;

• eletrônica de potência — um dos setores que, nos últimos 10 anos, mais se desenvolveu, já existindo, na UFSC e na UFRJ, grupos com atuação internacional, além de outros, bastante ativos, na UFPb, UFMG, UFU.

O Comitê Assessor de Engenharia Elétrica do CNPq propôs um plano de metas físicas para 1993 no valor de US$4,58 milhões, excetuando-se as bolsas de estudo. O critério adotado foi o de definir um universo desejável de 200 bolsas de pesquisa para a subárea, onde cada pesquisador teria apoio para uma participação em congresso nacional a cada ano e uma em congresso internacional a cada dois anos. Seriam ainda apoiados um pesquisador visitante por ano para cada curso e a realização de congressos no país promovidos pelas sociedades científicas da subárea como a Sociedade Brasileira de Automática (SBA), a Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica (SBEB), a Sociedade Brasileira de Telecomunicações (SBT) etc. O comitê recomendou, ainda, a concessão de 100 bolsas de doutorado e 20 de pós-doutorado no exterior, em 1993.

Principais institutos de pesquisa

Eletrônica e microeletrônica

O Laboratório de Microeletrônica (LME), da USP, fundado em 1968, o CTI, da Unicamp, o Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI), da USP — os dois últimos criados mais recentemente —, são os principais centros para o desenvolvimento da tecnologia de circuitos integrados e microcomputadores, e de robótica (CTI).

Sistemas de energia elétrica

O Centro de Pesquisas Elétricas (Cepel) da Eletrobrás, implantado em 1974, tem-se destacado nesse setor. Os enormes investimentos no setor elétrico, aliados à existência de centros de pós-graduação capazes de suprir os recursos humanos necessários, permitiram ao Cepel se desenvolver rapidamente (Carneiro Jr., 1990), e alguns de seus grupos têm atuação internacionalmente reconhecida em tecnologias de alta tensão, materiais, estabilidade de sistemas elétricos, planejamento de sistemas elétricos, e transitórios eletromagnéticos, entre outros. Após um longo período de declínio, o Instituto de Eletrotécnica da USP vem se fortalecendo na área de ensaios elétricos e máquinas elétricas. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) atua na área de ensaios industriais, da mesma forma que a Companhia Paranaense de Eletricidade (Copel), que mantém o Laboratório de Eletrotécnica e Eletrônica (LAC) em Curitiba.

Telecomunicações

Em 1974, foi criado o CPqD da Telebrás, com a participação ativa de professores do Cetuc (PUC/RJ), da Unicamp e do ITA. Tal como ocorreu com o Cepel, o binômio investimentos públicos/recursos humanos capacitados favoreceu a rápida consolidação do CPqD e seu engajamento em atividades de P&D de ponta, de nível internacional.

Robótica

O Cenpes/Petrobras, como parte de seu programa de capacitação para exploração de petróleo em águas profundas, mantém um grupo dedicado à robótica submarina (ver subseção Principais institutos de pesquisa, na seção 8 deste trabalho).

6. Engenharia biomédica

Situação geral da subárea no país

No Brasil, existem apenas três departamentos dedicados exclusivamente à engenharia biomédica: o Programa de Engenharia Biomédica da UFRJ/Coppe, o Núcleo de Estudos em Engenharia Biomédica da UFPb e o Departamento de Bioengenharia da USP-São Carlos. Além destes, atuam na subárea diversos grupos cujos dados estão inseridos em estruturas mais abrangentes, dificultando assim a análise específica em biomédica: o Departamento de Engenharia Biomédica da Faculdade de Eletricidade da Unicamp, o Departamento de Eletrônica da Escola Politécnica da USP, o Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC e, mais recentemente, o Cefet, do Paraná.

Dos três cursos, o mais antigo, implantado na UFRJ/Coppe em 1971, é o único consolidado e, mesmo assim, apenas no nível de mestrado. Os outros dois, apesar de datarem de 1978, ainda não se consolidaram sequer no nível de mestrado. Dos centros não-cadastrados junto à Capes, o Departamento de Biomédica da Unicamp apresenta um bom desempenho no nível de mestrado, embora os dados disponíveis não permitam identificar como atuam outros centros como os da USP, da UFSC e do Cefet.

Em 1991, o curso de bioengenharia da USP-São Carlos contava com 13 docentes permanentes e 12 doutores, enquanto o da UFRJ tinha 14 docentes permanentes e nove doutores. Apesar disso, o peso da produção científica da subárea se concentra, em todos os aspectos, no curso da UFRJ. A produtividade do curso da USP-São Carlos deixa muito a desejar, face ao potencial aparente do corpo docente. Já o grupo da Unicamp, com oito doutores e um mestre em 1992, é o que apresenta melhor titulação. Os índices de produtividade eram de 1,0 trabalho em revistas internacionais por docente — o mais alto entre todas as engenharias — e de 1,45 em termos de produção total/docente doutor.

Para fins de concessão de bolsas pelo CNPq, a engenharia biomédica faz parte da engenharia elétrica, tornando-se impossível, portanto, identificar o padrão de distribuição de bolsas de pesquisa no exterior para essa subárea. O quadro geral da engenharia biomédica é bastante precário, não só tendo em vista as necessidades do país como também quando se considera que nos hospitais deveriam existir profissionais formados em engenharia clínica, para melhorar as condições de manutenção e de utilização dos equipamentos hospitalares. Uma das maiores dificuldades da área é o fato de ela existir apenas no nível de pós-graduação, o que tem impedido o seu crescimento mais rápido, pois é freqüente o ingresso, em departamentos de engenharia elétrica, de mestres formados no setor, que freqüentemente acabam fazendo doutorado e pesquisas *fora* da área de biomédica.

Atuação em pesquisa

A engenharia biomédica inclui a bioengenharia, a engenharia clínica, a engenharia de reabilitação e a engenharia de sistemas de saúde. A situação de cada uma delas nos diferentes cursos de pós-graduação (inclusive aqueles não-credenciados especificamente na subárea) e centros de pesquisa é a seguinte:

• bioengenharia — é o setor mais tradicional, com atividade de pesquisa em todas as universidades; os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, na Unicamp e no Incor (Instituto do Coração);

• engenharia clínica — somente alguns grupos atuam neste setor, e o mais importante é o da Unicamp, embora a UFPb e o Cefet (PR) também realizem pesquisas nessa área;

• engenharia de reabilitação — esta é uma área pouco desenvolvida nas universidades, mas ativa em outras unidades e institutos de pesquisa (como o Hospital Sarah Kubitschek e o Hospital das Clínicas de São Paulo). A Unicamp também atua nessa área;

• engenharia de sistemas de saúde — este setor incorpora parte do que é hoje conhecido como informática em saúde; o principal grupo, com mestrado e doutorado, está na UFRJ/Coppe. Também realizam pesquisa de peso nessa área a Escola Paulista de Medicina, o Incor e a Unicamp.

7. Engenharia civil e sanitária

Situação geral da subárea no país

Apesar de ser a mais tradicional de todas as engenharias, a engenharia civil não foi a primeira a implantar a pesquisa e a pós-graduação no país nem suas atividades nessas áreas têm tido destaque especial. Ainda assim, cabe uma menção

aos trabalhos pioneiros realizados por diversos institutos, notadamente o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), criado em 1922, e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), fundado em 1934, no campo do concreto armado e em outros aspectos da subárea (Aidar & Cytrynorwicz, 1993:17-21).

Em 1990/91, existiam 17 cursos de pós-graduação, três deles em engenharia sanitária. Do total, somente oito cursos incluíam o doutorado e apenas quatro (UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP e USP-São Carlos — estruturas) eram consolidados no mestrado e doutorado, e um apenas no mestrado (UFRGS). A situação da engenharia sanitária é bastante precária, uma vez que o curso mais antigo (UFMG) tem conceito regular inferior (C –), e os outros dois estão ainda em fase de implantação.

Em 1991, foram titulados apenas 219 mestres e 45 doutores, número pouco expressivo quando comparado com as demais engenharias.

Em 1991, a produção científica em termos de publicação de artigos em revistas internacionais resultou em um índice de apenas 0,125 trabalho por docente-doutor, equivalente a uma média de um trabalho a cada oito anos. O índice de produção total/docente-doutor foi de 1,97, abaixo da média entre as engenharias. Esse índice é função da maior participação em congressos nacionais e internacionais, em detrimento da publicação em revistas. Tanto o comitê assessor do CNPq da subárea quanto o GTC da Capes apontam para esta distorção e recomendam maior empenho em publicar em periódicos já estabelecidos.

A subárea não registrou qualquer pedido de patente no biênio 1990/91.

Atuação em pesquisa nas universidades

Um traço marcante da subárea nas últimas décadas (Seplan/CNPq, 1983) tem sido sua crescente interdisciplinaridade em função da introdução de novos conhecimentos desenvolvidos nas áreas de cálculo numérico, técnicas computacionais, instrumentação eletrônica e novos materiais, entre outras. Criou-se, também, uma interface cada vez maior com outras áreas das ciências, inclusive não-exatas, como a arquitetura, a saúde e as ciências sociais.

Uma das conseqüências disso é a dificuldade em se definir os setores que compõem a engenharia civil. Na análise a seguir, adotou-se a mesma divisão sugerida por Alcântara Gomes (Seplan/CNPq, 1983), excetuando-se o setor de transportes, classificado aqui como subárea da engenharia:

• construção civil — a USP-Politécnica, a UFRGS e a UFF são os únicos centros que atuam nessa área, quase sempre através de cursos de mestrado e especialização, ao passo que geralmente a pesquisa é pouco desenvolvida;

• estruturas — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP-São Carlos, USP-Politécnica, UFRGS e UFMG, este último criado mais recentemente;

• geotecnia — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP-São Carlos e UnB (Brasília);

• recursos hídricos, saneamento e sanitária — USP-São Carlos, UFRJ/Coppe, USP-Politécnica e UFCe são os principais centros que trabalham com essa área.

O comitê assessor do CNPq recomendou a concessão de 200 bolsas de pesquisa e de US$2,8 milhões para auxílios à pesquisa e realização de eventos. Partindo da hipótese de que esse montante seria distribuído pelos 200 bolsistas, ter-se-ia um valor médio de US$14 mil para apoio aos pesquisadores, inferior ao proposto para as engenharias química e elétrica. O comitê assessor propôs ainda 100 bolsas de doutorado e 50 de pós-doutorado no exterior.

Institutos de pesquisa tecnológica

No início da década de 80, um número expressivo de institutos de pesquisa atuava em vários setores da engenharia civil (Seplan/CNPq, 1983): IPT, INT, IPR, Ceped, Itep (PE), Cientec (RS). Na década de 90, contudo, apenas o IPT vem desenvolvendo um trabalho importante nessa área; os demais ou foram desativados (IPR), ou passaram a se dedicar a outros setores.

A desativação de centros de pesquisa tecnológica na engenharia civil mereceria um estudo à parte identificando suas causas e conseqüências para o país.

8. Engenharia mecânica e aeroespacial

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes, existem, nessa área, 18 cursos, dos quais nove de doutorado. Em 1991, havia 333 docentes permanentes, 284 dos quais com doutorado. Foram titulados 216 mestres e 34 doutores, número considerado pequeno pelo comitê assessor do CNPq que, mais uma vez, aponta para o desequilíbrio entre as engenharias. O comitê assessor estima que, no Brasil, existam apenas 0,75 engenheiro mecânico para cada 1 mil habitantes da PEA, enquanto nos Estados Unidos esta densidade é 11 vezes maior (8,75 para cada 1 mil habitantes).

O comitê assessor alerta, ainda, para o fato de que, entre 1987 e 1990, a subárea evoluiu bem mais lentamente que as demais em praticamente todas as modalidades de apoio do CNPq — bolsas de iniciação científica, mestrado, doutorado etc. —, deixando claras as seqüelas da crise da economia brasileira sobre a demanda por engenheiros e pesquisadores qualificados na área de engenharia mecânica.

Em 1991, a produção científica foi de 0,19 trabalho publicado em revistas internacionais por docente-doutor e o índice de produção total/docente-doutor atingiu 3,09, o maior entre todas as subáreas da engenharia. Este índice é um reflexo da intensa participação em congressos no país e no exterior, já que a engenharia mecânica é, sem dúvida, uma das mais organizadas no tocante à realização de eventos no país.

A subárea teve sete pedidos de patentes ou protótipos no biênio 1990/91.

Atuação em pesquisa nas universidades

As áreas de concentração da engenharia mecânica seguem a classificação a seguir, acrescida da identificação dos grupos mais atuantes:

- processos de fabricação — os principais grupos estão na UFSC, USP-São Carlos e Unicamp;

- acústica e vibração — os grupos da UFSC, UFRJ/Coppe e Unicamp são os que mais se destacam;

- mecânica dos sólidos e projeto de máquinas (robótica) — o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) do CNPq tem um grupo muito ativo em mecânica dos sólidos; existem grupos importantes na UFSC, na PUC-RJ, na UFRJ/Coppe, na Unicamp e na UFU; a robótica, por sua vez, é incipiente no país, embora existam alguns grupos importantes na UFRJ/Coppe e na UFSC;

- termociências — a Unicamp, a UFSC, a PUC-RJ e a UFRJ/Coppe têm grupos bem consolidados, embora haja também grupos na USP-Politécnica, na UnB e na UFU, os dois últimos ainda não-consolidados;

- mecânica dos fluidos — os grupos mais fortes estão na UFSC, na PUC-RJ, na UFRJ/Coppe, na Unicamp e no ITA.

O comitê assessor do CNPq definiu em US$50 mil por projeto o valor necessário para projetos integrados para o primeiro ano, e em US$30 mil o montante para os dois anos seguintes. Estimando-se que o potencial da subárea conduziria a uma aprovação de 70 projetos, o impacto orçamentário seria de US$3,5 milhões no primeiro ano, e de US$2,1 milhões nos anos seguintes. O comitê abrange também a subárea de engenharia naval e oceânica, analisada mais adiante neste trabalho (seção 10).

Além dos projetos integrados, que envolveriam em média três doutores cada, o comitê assessor apresentou uma proposta no total de US$ 4,355 milhões. O valor global para 1993 — incluindo os projetos integrados — atingiu, portanto,

US$ 7,655 milhões. O CA recomendou, ainda, a concessão de 70 bolsas no exterior para doutorado e de 16 para pós-doutorado.

Principais institutos de pesquisa

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), com seus laboratórios sediados em São José dos Campos e Cachoeira Paulista, abriga grupos fortes em pesquisa tecnológica nos setores de combustão, aerodinâmica e simulação térmica. O Instituto de Atividades Espaciais (IAE) vem se dedicando ao desenvolvimento tecnológico na área de combustão.

Os investimentos da Petrobras na busca de reservatórios de petróleo na plataforma continental do Atlântico forçaram a empresa a desenvolver um intenso programa de capacitação técnica coordenado pelo Centro de Pesquisa Leopoldo Miguez, o Cenpes. Este programa começou no final da década de 70, dedicando-se, inicialmente, ao projeto de estruturas *Offshore*. O êxito da prospecção, com as sucessivas descobertas de novos campos, inclusive em águas profundas, conduziu a novos desafios tecnológicos. Para enfrentá-los, o Cenpes buscou o apoio de grupos de pesquisas nas universidades, notadamente na UFRJ/Coppe, e vem mantendo desde 1978 um convênio com esta instituição, abrangendo os mais diversos aspectos da produção de petróleo no mar: projeto de estruturas marítimas, interação mar-estruturas, proteção catódica, sistemas elétricos das plataformas, robótica submarina etc. A Petrobras passou a ser reconhecida internacionalmente como detentora de tecnologias de ponta na área de exploração em águas profundas (Carneiro Jr., 1990). O curso de engenharia do petróleo da Unicamp faz parte do mesmo projeto de capacitação da empresa. O Cenpes mantém, ainda, grupos bastante ativos nas linhas de fluidos não-newtonianos e escoamento bifásico.

Na área de P&D da indústria mecânica destaca-se a Embraco (SC), que tem uma forte interação com a UFSC e que exporta cerca de 60% de sua produção de compressores. A Metal Leve — que exporta diversas peças e componentes, notadamente cilindros para motores de combustão interna — montou um centro de P&D com a finalidade de realizar a transferência de tecnologias para os processos produtivos da empresa.

9. Engenharia metalúrgica de materiais e de minas

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes para o biênio 1990/91, a maioria dos cursos se concentra na área de metalurgia (seis), com dois cursos recentemente criados na área de materiais e apenas dois em minas. O curso da UFRJ — que abrange os três

setores — e o da Unicamp — voltado exclusivamente para o petróleo — também estão computados entre os da engenharia mecânica.

Tratando-se de um setor de inegável importância estratégica para o país, e que mereceu atenção especial do governo central já na época do Império, através da criação da Escola de Minas de Ouro Preto, em 1875, o quadro geral da subárea chega a ser surpreendente. Apenas dois cursos são consolidados no nível de mestrado e doutorado, e outros dois, só no nível de mestrado.

Uma explicação para a lenta evolução da subárea, especialmente da engenharia de minas, é de natureza econômica: os capitais de risco envolvidos nas atividades minerais são muito elevados, e uma parcela substancial do risco se refere ao tratamento do minério para a obtenção econômica do resultado final. Este risco tem sido enfrentado por empresas multinacionais, que podem financiar as pesquisas em laboratórios próprios ou através de contratos. No Brasil, apenas as empresas estatais têm tido condições de investir em pesquisas desse tipo. Outra explicação, de natureza acadêmica, baseia-se no desenvolvimento da área de geociências (Seplan/CNPq, 1983), onde se concentram muitas linhas de pesquisa aplicada que poderiam se enquadrar igualmente no âmbito da engenharia de minas.

Nos setores de metalurgia e materiais, existe uma forte interação com a física, sobretudo do estado sólido, e com a química, em especial nas linhas de polímeros e catalisadores.

Em 1991, titularam-se 147 mestres e 18 doutores. A produção científica está concentrada em congressos nacionais e o índice produção total/docente-doutor atingiu o valor de 2,71, superior à média das engenharias, que é de 2,42. O índice de publicação de artigos em revistas internacionais é de 0,28 trabalho/docente-doutor, também acima da média para as engenharias química e elétrica. A subárea registrou apenas dois pedidos de patentes em 1991.

O comitê assessor da subárea classificou todos os pesquisadores-doutores na carreira de pesquisa do CNPq, merecendo destaque o número expressivo de doutores recém-titulados.

A distribuição dos pesquisadores entre as diversas categorias indica que o comitê assessor do CNPq tem sido bastante criterioso nas suas avaliações. Em maio de 1993, havia 120 pesquisadores bolsistas do CNPq, o que indica que quase metade do total de doutores da subárea estava integrada ao sistema de bolsas do CNPq.

Atuação em pesquisa

Ainda de acordo com o CA, em anos recentes a área de materiais vem experimentando um avanço tecnológico significativo, concentrando os maiores investimentos nas áreas de supercondutividade, materiais para microeletrônica (filmes e recobrimentos), materiais cerâmicos e compósitos.

Nos setores de minas e metalurgia extrativa, o envolvimento dos grupos mais consagrados tem-se direcionado para a etapa final de processamento dos produtos.

O impacto resultante de novos desenvolvimentos é de curto prazo, com reflexos quase imediatos na sociedade.

A situação dos diversos setores é resumida a seguir, com base na divisão setorial utilizada por Godoy (Seplan/CNPq, 1983):

- engenharia de minas — em razão da estreita relação com a geociências, existem, ao todo, segundo levantamento da Capes em 1991, 13 cursos de mestrado e doutorado, e 13 no nível só de mestrado; entre os cursos de mestrado, cinco obtiveram conceito A, 18, conceito B, e 3, conceitos inferiores (ou ainda não foram avaliados). Os principais grupos de pesquisa em geociências estão na Unicamp. Na engenharia de minas propriamente dita, os grupos mais atuantes estão na USP-SP (lavra de minas, pesquisa e recursos minerais, e processamento de minas), na UFMG e na UFRGS. A situação da subárea como engenharia é ainda bastante incipiente;

- metalurgia extrativa — os principais grupos estão na USP-SP, UFMG, UFRJ/Coppe, PUC-RJ e na UFRGS;

- metalurgia de transformação — os grupos mais ativos estão na UFRJ/Coppe, UFMG, USP-SO, UFRGS e UFSCar;

- metalurgia física — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, UFMG, PUC-RJ, UFSCar e USP-SP;

- materiais não-metálicos — existem apenas dois grupos com alguma expressão: na UFSCar e na UFRJ/Coppe.

De acordo com as metas físicas propostas pelo comitê assessor da subárea no CNPq para 1993, seriam apoiados 20 projetos, no valor de US$20 mil, 20 de US$30 mil, 10 de US$40 mil e cinco de US$50 mil. É uma proposta interessante, pois não reduz todos os projetos ao mesmo nível, permitindo que grupos com maior atuação experimental possam pleitear apoios mais substanciais. Os valores médios resultantes são sensivelmente superiores aos pleiteados pelos comitês das demais subáreas, com exceção daqueles projetados pelo CA de engenharia mecânica, para o primeiro ano de apoio a projetos integrados. O CA propôs, ainda, 20 bolsas no exterior para doutorado e 36 para pós-doutorado.

Principais institutos de pesquisa

A subárea dispõe de um número significativo de centros de pesquisa, públicos e privados. Os mais importantes são:

• Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) do CNPq, em metalurgia extrativa;

• Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em metalurgia extrativa, de transformação e física;

• Centro Técnico Aeroespacial (CTA), em metalurgia extrativa;

• Centro de Pesquisas Elétricas (Cepel), em metalurgia física e de transformação e em materiais;

• o Ipen, o IEN, e o Inpe (São José dos Campos), em materiais;

• o Cenpes/Petrobras, em geologia do petróleo.

Além destas, algumas empresas do setor siderúrgico mantêm centros de pesquisas: a Companhia Vale do Rio Doce (metalurgia extrativa), a Usiminas (metalurgia física, extrativa, de separação e de extração, de materiais etc.), a Fundição Tupy (metalurgia física e de transformação), a Companhia Siderúrgica Nacional e a Acesita (ambas já privatizadas).

10. Demais subáreas da engenharia

Não se pretende aqui fazer uma cobertura exaustiva de todas as subáreas da engenharia. Uma tarefa desse porte não só fugiria ao escopo deste trabalho, como requereria um tratamento multidisciplinar, uma vez que as fronteiras com as demais áreas do conhecimento se tornaram bastante difusas, em função das especializações que vêm surgindo em anos recentes. Dentro dessa perspectiva, não foram incluídas a engenharia de computação, de alimentos, florestal, agrícola, de pesca, e ainda áreas de concentração como planejamento energético e meio ambiente.

Engenharia da produção

A engenharia de produção se distingue das demais engenharias pelo seu alto grau de interdisciplinaridade, em que conhecimentos das áreas de ciências humanas e sociais têm a mesma importância que as ciências da engenharia propriamente ditas.

Por se situar na base do setor produtivo, a engenharia de produção desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e tecnológico de um país. No Brasil, o primeiro curso de graduação foi criado em 1957, na Epusp, e, atualmente, existem mais de 20 cursos no país, com grande demanda por parte dos alunos.

Existem sete cursos na pós-graduação, com apenas três no nível de doutorado, nenhum deles consolidados. O índice de produção total/docente-doutor foi de 1,47 em 1991, enquanto o índice de publicação em revistas internacionais é de apenas 0,09 artigo/docente-doutor. Ambos os índices estão entre os mais baixos nas engenharias, e há uma forte concentração da produção científica na UFSC, em congressos nacionais. Houve, entretanto, uma evolução expressiva no número de alunos titulados no mestrado, que se elevou de 63, em 1990, para 103, em 1991.

Os setores mais tradicionais e desenvolvidos da engenharia de produção são: gerência da produção, pesquisa operacional, engenharia econômica e engenharia do produto, embora existam outros, como organizacão do trabalho, gerência da tecnologia e sistemas de transporte (este último setor será incluído na subárea de engenharia de transportes).

A baixa produtividade da subárea se reflete na alocação de bolsas de pesquisa do CNPq: existiam apenas nove bolsistas na categoria I e 20 na categoria II, indicando que apenas 29 dos 89 docentes-doutores participavam do sistema em 1992, e desses, quatro estavam classificados no nível I.A.

As metas orçamentárias do comitê assessor da subárea para 1993 totalizam US$4,410 milhões, com valores estipulados, tanto para os projetos individuais quanto para os integrados, substancialmente mais altos do que os que foram recomendados para as demais subáreas. O comitê recomendou a concessão de 30 bolsas de doutorado e 10 de pós-doutorado no exterior em 1993.

Engenharia de transportes

A engenharia de transportes trata da teoria, dos métodos e das técnicas de planejamento, projeto, operação e gerenciamento de sistemas de transporte. Em nível de graduação, é considerada como especialidade da engenharia civil, naval, aeronáutica e de produção, embora na pós-graduação tenha adquirido o *status* de subárea. Os dados analisados a seguir não incluem três cursos de pós-graduação que, embora de outras subáreas, oferecem titulação com área de concentração em transportes, a saber: PUC/RJ (engenharia industrial), IME (ciências de computação) e UFPb (engenharia civil).

Existem cinco cursos de pós-graduação, dos quais três incluem o doutorado, nenhum deles consolidado. A produção científica em revistas internacionais, em 1991, foi de apenas 0,11/docente-doutor, bastante inferior à média das engenharias, enquanto o índice de produção total foi de 1,17, também muito inferior à média.

Os principais setores de estudos da engenharia de transportes são a engenharia de tráfego e segurança viária (UFRJ/Coppe), a infra-estrutura rodoferroviária (USP-SP e USP-São Carlos), a infra-estrutura aeroportuária (ITA), e transportes urbanos (UnB). São poucas as bolsas de pesquisa do CNPq concedidas aos docentes da subárea: apenas 17 dos 69 docentes-doutores estavam no sistema em 1992, dos quais cinco classificados na categoria I (apenas um na I.A) e 12 na categoria II.

As metas orçamentárias propostas pelo comitê assessor para 1993 totalizavam US$1,369 milhão, com grande ênfase na participação em congressos no exterior. O comitê assessor recomendou, ainda, a concessão de 41 bolsas no exterior, 25 para doutorado e oito para pós-doutorado.

Engenharia nuclear

A engenharia nuclear inclui, entre outros tópicos, a física de reatores, a termodinâmica e a análise de segurança, e incorpora conhecimentos de diversas subáreas da engenharia, notadamente mecânica, metalúrgica, química, civil e elétrica. Além destas, possui interfaces com a radiologia, a radioquímica e a radioecologia, entre outras, tendo, portanto, uma forte componente de interdisciplinaridade (Seplan/CNPq, 1983).

São seis os cursos de pós-graduação, dos quais dois (UFRJ/Coppe e USP) oferecem o doutorado. Diversas outras instituições oferecem cursos relacionados com a engenharia nuclear como área de concentração de programas de pós-graduação, especialmente a UFRGS e a PUC-RJ (ambas engenharia mecânica).

Por motivos históricos, dois cursos de planejamento energético estão relacionados na subárea, embora, a partir de 1991, eles tenham passado a ter existência autônoma. A produtividade em termos de artigos em revistas internacionais foi de 0,10 trabalhos/docente-doutor, enquanto o índice de produção total foi de apenas 0,45, muito inferior à média das demais subáreas. É provável que exista alguma distorção nesses índices, devido à ausência de registro da produção científica dos cursos da USP, da UFMG e do IME.

As metas físicas e o orçamento propostos pelo comitê assessor do CNPq para 1993 resultaram em um valor global de US$1,143 milhão, tendo o CA recomendado a concessão de 31 bolsas no exterior, 25 de doutorado e seis de pós-doutorado.

A participação dos 131 docentes-doutores da subárea no sistema de bolsas de pesquisa do CNPq é muito reduzida, registrando-se a existência de apenas três pesquisadores na categoria I e de 14 na categoria II.

Em termos de institutos tecnológicos, a Comissão Nacional de Energia Nuclear mantém diversos centros que desenvolvem pesquisas nas linhas de reatores e aplicações de energia nuclear: o Ipen (USP), o IEN (no campus da UFRJ) e

o CDTN (Rio de Janeiro). Mantém, ainda, o IRD, na área de radioproteção e dosimetria.

Na linha de aplicações, destaca-se a atuação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena), que foi incorporado à USP.

Engenharia naval e oceânica

O ensino de engenharia naval no Brasil teve início em 1957, na USP, com a criação do curso de graduação na Escola Politécnica. Dois anos mais tarde, foi criado um curso semelhante na Escola de Engenharia da UFRJ. A pós-graduação se iniciou em 1967, quando a UFRJ implantou o mestrado, seguida pela USP, em 1970.

Em 1990/91, existiam apenas dois cursos de pós-graduação, ambos consolidados no nível de mestrado. O doutorado foi implantado na UFRJ/Coppe em 1989, e embora o da USP date de 1983, até hoje ainda não está plenamente consolidado.

A produção científica em termos de publicações em revistas internacionais foi quase nula no biênio analisado. O índice de produção total foi de 2,37 trabalhos por docente-doutor, ligeiramente inferior à média das engenharias. As metas físicas e o orçamento para 1993 elaborados pelo comitê assessor do CNPq estão incluídos na engenharia mecânica e aeroespacial.

11. Conclusões

Apesar das dificuldades em obter dados e informações sobre o estado das diferentes subáreas da engenharia, a análise detalhada das chamadas grandes áreas — química, elétrica (e biomédica), civil (e sanitária) e mecânica (e aeroespacial), metalurgia (minas e materiais) —, assim como das outras subáreas na seção 10, permite uma visão das engenharias cujos principais aspectos são resumidos a seguir.

• Os investimentos nacionais na formação tanto de profissionais quanto de pesquisadores estão mais direcionados a outras áreas de conhecimento — por exemplo, ciências humanas e sociais — do que às engenharias. Este aspecto fica ainda mais evidente nas comparações feitas nas seções 2 e 3 (subseções A formação de engenheiros e A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento, respectivamente) com relação ao peso das engenharias em outros países.

• O quadro geral do conjunto das áreas indica que o país logrou estabelecer, no prazo relativamente curto de cerca de 30 anos, um respeitável sistema de pós-graduação e pesquisa.

• Enquanto a graduação registra uma distorção, com uma excessiva concentração de profissionais na engenharia civil, na pós-graduação houve uma distribuição mais uniforme e alinhada com as necessidades dos setores de pesquisa e de produção.

• As diversas subáreas da engenharia vêm seguindo processos distintos de evolução e consolidação, com a presença de casos de inegável sucesso e qualidade internacional de uns poucos grupos, ao lado de casos de grupos que permanecem incipientes, apesar de criados há algumas décadas.

• A produção científica vem evoluindo satisfatoriamente, embora de forma desigual nas diferentes subáreas, identificando-se uma preocupação crescente com a publicação de trabalhos em revistas internacionais. Este aspecto denota, de um lado, uma inserção mais incisiva dos grupos nacionais no cenário internacional, mas, de outro, tem suscitado alguma preocupação quanto à valorização de outros itens fundamentais, como a própria formação de recursos humanos e a realização de projetos de cunho tecnológico.

• Conforme discutido na seção 3 (subseção A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento), é conveniente que as agências de fomento adotem um indicador baseado no valor dos contratos de consultoria e convênios, que servirá para identificar a freqüência de transferência de conhecimentos gerados nas áreas tecnológicas para o setor produtivo e deverá ser utilizado de forma complementar aos indicadores tradicionais.

• As propostas de custeio apresentadas pelos diversos comitês assessores do CNPq apontam para a necessidade de investimentos da ordem de US$20,5 mil por docente-doutor por ano. Tendo em vista a situação de extrema dificuldade que quase todos os centros de pós-graduação vêm atravessando nos últimos anos, esse investimento teria retorno quase imediato e ajudaria a recuperar parte dos equipamentos e laboratórios que estão sendo sucateados pela falta de recursos.

• Considerando o valor acima e o número total de 1.635 docentes-doutores nas engenharias, o custeio anual necessário para estimular o sistema de pós-graduação e pesquisa na área e retomar um ritmo satisfatório de atividade seria da ordem de US$33 milhões.

• É importante considerar que as propostas de custeio analisadas se basearam em metas físicas estimadas pelos comitês, e não na alocação de recursos entre as diversas modalidades de apoio. Portanto, os dados não podem ser tomados como uma base definitiva para a alocação de recursos, conforme será exemplificado a seguir.

• Os comitês das grandes áreas da engenharia (seções 4 e 9) recomendam a concessão, pelo CNPq, de um total de 420 bolsas de doutorado no exterior. Tomando como exemplo a engenharia elétrica, o CA recomendou a concessão de 100 bolsas.

• O custo médio anual do estudante de doutorado no exterior é da ordem de US$25 mil, bem superior ao custo médio por docente-doutor mencionado, de US$20,5 mil. Dados recentes divulgados pela UFRJ/Coppe (Coppe, 1993) apontam para um custo médio por aluno de pós-graduação de apenas US$5,5 mil, o equivalente a menos de 20% do custo de um bolsista no exterior.

• O custo total anual das 420 bolsas de doutorado no exterior recomendadas para as engenharias é, portanto, da ordem de US$10,5 milhões, sem considerar o apoio de outras agências.

• Embora seja inegável a necessidade de treinamento no exterior, a atual carência de recursos em praticamente todos os grupos de pesquisa (com a possível exceção de São Paulo, graças à atuação da Fapesp) leva a questionar se o programa de bolsas no exterior deve ser mantido nos níveis atuais. Caso fosse destinado um valor global a cada comitê assessor, com ampla liberdade de definição dos itens a serem apoiados, os resultados seriam bem diversos daqueles analisados neste trabalho, configurando um interessante exercício de alocação de recursos.

• A questão da destinação de parte dos recursos das bolsas no exterior para grupos selecionados no país, capazes de absorver alunos de doutorado, chegou a ser analisada no âmbito do CTC da Capes em 1992. Suspeita-se que essa política não tenha sido implantada em função do receio da agência de perder recursos após o primeiro ano de aplicação no item de custeio, logo não associado a "pessoal".

Em conclusão, o espectro de atuação no país abrange praticamente todas as subáreas das engenharias, embora tenham sido detectadas carências importantes nos seguintes aspectos:

• número ainda insuficiente de pesquisadores ativos em linhas de pesquisa estrategicamente importantes;

• dificuldades na manutenção de um fluxo contínuo de recursos, com repercussão direta na consolidação de laboratórios e linhas de pesquisa;

• falta de interesse do setor produtivo (excetuando-se, em algumas áreas, as empresas estatais) em investimentos de P&D.

Apesar das enormes dificuldades enfrentadas, os investimentos no sistema de pós-graduação e pesquisa nas engenharias, realizados nas últimas décadas,

vêm trazendo benefícios indiscutíveis para a sociedade como um todo, chegando mesmo a criar condições, em alguns setores, para uma redefinição das bases de intercâmbio tecnológico com países mais desenvolvidos (Carneiro Jr. & Bartholo, 1984).

Referências bibliográficas

Aidar, J. S. & Cytrynorwicz, R. Tradição de ensino no rumo da tecnologia do século XXI. *Revista da Escola Politécnica* (208):17-21, jan./abr. 1993.

Carneiro Jr., S. The graduate school of engineering — Coppe: analysis of its evolution and present status. In: IBM-SAIS Seminar on Human Resources for Technological Development in Brazil. Washington, D.C., The Johns Hopkins University, 1990.

——— & Bartholo, R. S. Post-graduate engineering education in Brazil: a case study. In: *World Conference on Engineering and Engineering Technology Education*. Cologne, 1984.

Carvalho, J. C. M. Atividade científica. In: *Atlas cultural do Brasil*. MEC/Fename, 1972. p. 137-47.

Coppe. *Momento Coppe*, *1*(6), set. 1993.

Danna, F. L.; Iida, I. & Vieira, R. C. C. *Perfil do engenheiro no século XXI*. Abenge/Confea, set. 1991.

Iida, I. & Rocha Neto, I. O perfil da engenharia no Brasil. Brasília, *Educação Brasileira*, *12*(25):151-62, 2º sem. 1990.

Kelly, Celso. O processo educacional. In: *Atlas cultural do Brasil*, MEC/Fename, 1972. p. 151-67.

Nussenzweig, M. *Boletim da Sociedade Brasileira de Automática*, abr. 1993.

Seplan/CNPq. *Avaliação e perspectivas 1982*. Brasília, Seplan/CNPq, 1983. v. 4, Engenharias.

Vieira, R. C. C. *Formação tecnológica para o desenvolvimento*. 1993. (Convênio SAE/Pnud — Bra/092/030.)

Física

*Sérgio M. Rezende**

1. Apresentação da física

Esta seção baseia-se em grande parte em documentos elaborados por comissões nacionais de físicos nas quais o autor teve ativa participação (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1978 e 1982; Sociedade Brasileira de Física, 1987) e em um documento de projeções da física nos EUA (Physics Survey Committee, 1986).

A física na sociedade

A física é o campo da ciência que investiga os fenômenos e as estruturas mais fundamentais da natureza, procurando sua compreensão e descrição em termos de leis as mais gerais possíveis. A física investiga desde partículas subatômicas e sua estruturação em átomos e moléculas, até fenômenos que envolvem grandes aglomerados destes, como a matéria ordinária. Nessa escala, por exemplo, suas leis e métodos são usados para o estudo da Terra e dos fenômenos que ocorrem em sua atmosfera. Em uma escala maior, essas leis e métodos permitem uma descrição do Universo como um todo, e a criação de modelos para a sua evolução.

No processo de compreensão da natureza, as investigações físicas têm possibilitado o domínio de fenômenos naturais e a criação de fenômenos materiais e sistemas artificiais que têm contribuído decisivamente para o avanço de outros campos da ciência e para o progresso tecnológico da humanidade. Foram as investigações de físicos europeus sobre os fenômenos elétricos e magnéticos, no século passado, que levaram à invenção do gerador e do motor elétricos, utilizados atualmente para gerar energia elétrica e para produzir movimento, numa variedade enorme de aplicações que afetam nossa vida diária. Essas mesmas investigações levaram à descoberta, no século passado, de que a luz é uma onda eletromagnética. Ondas desta natureza, mas com menor freqüência, propiciaram a invenção do rádio, da televisão, do radar e dos sofisticados meios de telecomunicações que estão incorporados na sociedade moderna.

A descoberta da mecânica quântica na década de 20 possibilitou a compreensão detalhada da estrutura atômica e das partículas fundamentais da natureza. Além de abrir espaço para um grande desenvolvimento da física e de outros cam-

* Departamento de Física, Universidade Federal de Pernambuco.

pos da ciência, como a química, a biofísica e a astrofísica, por exemplo, a mecânica quântica possibilitou aprofundar o conhecimento sobre os materiais e conduzir à descoberta de novos fenômenos. Um deles, o da condução eletrônica em semicondutores, possibilitou a invenção do transistor em 1947 e dos circuitos integrados no final da década de 50. Essas invenções revolucionaram a eletrônica e abriram caminho para a disseminação dos computadores que estão transformando os costumes da sociedade. Outra invenção, a do laser em 1960, proporcionou o advento das comunicações ópticas e está produzindo profundas modificações na eletrônica. Muitas descobertas no domínio da física têm também contribuído para outros campos importantes da atividade humana. Este é o caso da tomografia de raios X, da ultra-sonografia, da cirurgia com laser e, mais recentemente, da tomografia de ressonância magnética nuclear, que tem contribuído enormemente para o progresso da medicina.

A física se encontra em estágio de grande vitalidade, e quase toda a atividade atual de pesquisa é feita sobre temas inexistentes há 100 anos. A maioria deles decorre da descoberta da estrutura atômica da matéria e sua compreensão por meio da mecânica quântica. Na física de hoje, são necessárias condições muito especiais para produzir e analisar os fenômenos estudados, o que tem levado a espetaculares sucessos tecnológicos que suscitam grandes investimentos nesta área e, conseqüentemente, um grande número de profissionais dedicados à pesquisa física atualmente. Esses dois aspectos, a dificuldade em produzir e analisar os fenômenos e o grande número de participantes do panorama científico contemporâneo, estabelecem uma diferença importante entre a física de nossos dias e a do início do século. Apesar de o método científico básico permanecer, em essência, inalterado, o pesquisador moderno necessita de equipamento sofisticado, apoio técnico de alto nível, infra-estrutura adequada e acesso rápido aos resultados obtidos por outros pesquisadores. Em geral, pesquisadores, estudantes e técnicos de apoio trabalham congregados em grupos de pesquisa, que normalmente recebem recursos diretamente dos órgãos financeiros. Raramente os físicos trabalham isoladamente, e as publicações científicas em geral são assinadas por vários autores. Com freqüência, a colaboração científica envolve pesquisadores de outras áreas ou extrapola os muros das instituições, congregando pessoas de vários locais ou até mesmo de países diferentes.

Finalmente, a complexidade dos equipamentos e da linguagem matemática das teorias tornou inevitável a divisão dos físicos em duas categorias: teóricos e experimentais. Os experimentais realizam o contato concreto com os fenômenos, planejando, construindo e utilizando equipamentos para testar conjecturas geradas pelas próprias experiências ou sugeridas pelos teóricos. Estes, por sua vez, trabalham preponderantemente na elaboração de modelos abstratos para conjuntos de fenômenos ou, em nível mais avançado, na construção de teorias. Ambos são indispensáveis ao progresso da física. Com freqüência, os equipamentos usados pelos físicos são criados e desenvolvidos pelos próprios grupos de pesquisadores e, muitas vezes, encontram aplicações na indústria e em outros campos da ciência.

O moderno processo científico é complexo e dispendioso, e seu desenvolvimento e manutenção dependem de decisões políticas do poder público que afetam de muitas maneiras toda a sociedade. Como em outros campos da ciência, as descobertas e invenções dos físicos podem contribuir tanto para a melhoria das condições de vida em nosso planeta quanto para destruir a própria vida. Como utilizar as descobertas científicas apenas para o bem é um dos principais desafios da sociedade moderna.

Além de contribuir para o avanço das fronteiras do conhecimento humano, a física tem um importante papel na formação de profissionais que exercem atividades essenciais na sociedade, como engenheiros, médicos, técnicos de diversas especialidades etc. Por esta razão, as universidades e escolas de formação profissional têm grande número de professores de física que, em geral, são físico-pesquisadores. Mesmo assim, nos países desenvolvidos, apenas uma fração dos físicos (30-40%) exerce suas atividades em instituições de ensino. A maior parte trabalha na indústria, em laboratórios com missões específicas ou centros de pesquisa. Este não é, contudo, o caso do Brasil, onde as oportunidades de emprego de físicos na indústria, embora crescentes, são ainda muito reduzidas.

Áreas da física

A física é um campo extremamente sofisticado da ciência e, nos dias de hoje, é subdividida em várias áreas distintas. Na perspectiva da Sociedade Brasileira de Física, a física se diferencia em:

- física das partículas elementares e áreas correlatas;
- física nuclear;
- física da matéria condensada;
- física atômica, molecular e óptica;
- física de plasmas;
- áreas interdisciplinares;
- ensino básico de física.

Segue-se uma descrição resumida das principais características e objetivos de pesquisa dessas áreas, visando posteriormente situar o estado da física no país.

Física das partículas elementares

O objetivo da física das partículas elementares é a descoberta e a compreensão dos constituintes mais simples da matéria e das forças básicas que atuam entre eles, em especial das leis básicas e princípios unificadores que forneçam um quadro racional dos fenômenos já conhecidos e possam prever fenômenos novos.

Uma partícula elementar é aquela que não apresenta estrutura interna. A caracterização das partículas elementares tem variado conforme a época. Os átomos foram considerados os constituintes mais simples da matéria por longo tempo, até que, no início deste século, descobriu-se que eles eram constituídos de um núcleo, formado por prótons e nêutrons, e por elétrons. Os prótons e nêutrons foram considerados elementares por cerca de 50 anos, até se descobrir, nas duas últimas décadas, que eles possuem uma estrutura interna formada por partículas mais simples, chamadas quarks.

Na física das partículas elementares, as experiências consistem basicamente na observação dos resultados das colisões entre partículas, a fim de obter informações acerca de suas interações. Quase todas as experiências nessa área são efetuadas utilizando-se aceleradores que produzem feixes de partículas de alta energia que são utilizados para o estudo de colisões com alvos adequados. Devido à necessidade de um aporte apreciável de recursos financeiros para a construção de grandes aceleradores de partículas, existem poucos laboratórios no mundo em condições de realizar experiências de vanguarda nessa área. Isto faz com que a cooperação científica internacional seja essencial para a pesquisa nesta área.

O esforço para a compreensão das partículas elementares tem extrapolado para áreas tradicionalmente distantes, como relatividade, gravitação, cosmologia, astrofísica e a própria física matemática. Entre os tópicos mais vibrantes da pesquisa atual nestas áreas correlatas estão os buracos negros e as ondas gravitacionais. A existência de buracos negros é uma das conseqüências da relatividade geral. Neles a atração gravitacional se torna tão intensa que, classicamente, nem mesmo a luz pode escapar. A observação experimental desse fenômeno é ainda uma questão controvertida. Ondas gravitacionais estão na mesma situação, já que sua existência não foi ainda diretamente confirmada pela experiência.

Um dos resultados mais importantes da relatividade geral é o modelo cosmológico do universo em expansão, a partir da exploração inicial de um universo pequeno e muito quente, seguida de sua expansão e resfriamento. A descoberta de uma radiação de fundo isotrópica de 3°K de temperatura deu um apoio experimental muito importante a este modelo da origem do universo.

Física nuclear

Compreende os seguintes estudos: da estrutura de núcleos nos estados fundamentais e excitados; das interações entre núcleos e outras partículas, tais como fótons, elétrons, mésons etc., no que diz respeito tanto à natureza da interação envolvida quanto à informação sobre a estutura do núcleo assim obtido; das interações entre os componentes dos núcleos, chamados núcleons; e da interação de núcleos ou radiações nucleares com a matéria.

Os problemas da física nuclear são caracterizados pelo fato de que a interação responsável pela agregação de núcleons em núcleos só é conhecida em termos fenomenológicos, contrastando fortemente com a física atômica. Além disso, a estrutura nuclear não é caracterizada nem como um sistema de poucos corpos quase independentes, como os elétrons das camadas atômicas, nem como um sistema de muitos corpos, típico da matéria condensada. As experiências e as teorias até agora desenvolvidas revelam que o núcleo tem um rico espectro de modos de excitação que ainda desafia as explicações teóricas. A extensão do estudo de interações nucleares até energias mais altas e a sistemas mais complexos, como, por exemplo, nas interações entre núcleos complexos acima da barreira coulombiana, revela novos e fascinantes modos de excitação.

Atualmente, as principais ferramentas da física nuclear são aceleradores eletrostáticos e ciclotrons para baixas energias, aceleradores lineares e outros tipos para energias mais altas. Os reatores ainda oferecem interessantes possibilidades para a pesquisa nessa subárea.

Uma área onde o impacto de física nuclear transcende as fronteiras das ciências exatas, tendo imensas implicações sociais, econômicas e políticas, é a de energia nuclear. Ela se destaca, tanto por seus aspectos positivos quanto negativos, como uma das principais causas do reconhecimento da relevância do papel da ciência na sociedade moderna.

Física da matéria condensada

A física da matéria condensada investiga os estados da matéria nos quais os átomos constituintes estão suficientemente próximos e interagem simultaneamente com vários vizinhos. É uma área de investigação básica, que procura a explicação detalhada de propriedades e fenômenos da matéria condensada a partir dos conceitos e das equações fundamentais da mecânica quântica e da física estatística. São particularmente interessantes as propriedades elétricas, ópticas, magnéticas, mecânicas e térmicas. Por outro lado, a física da matéria condensada tem uma enorme quantidade de aplicações na tecnologia moderna. Foi a partir de investigações nesta área que surgiram grandes inovações tecnológicas como os transistores, os circuitos integrados, os microprocessadores, os fios supercondutores e os lasers semicondutores que deram origem às comunicações ópticas.

Esta área da física começou a adquirir características próprias apenas a partir de 1948, inicialmente sob o nome de física do estado sólido. Foi a descoberta do transistor naquele ano que deu enorme impulso à pesquisa em física de sólidos.

Na década de 50 os trabalhos nesta área estavam concentrados nos sólidos cristalinos, cujos íons formam um arranjo ordenado periódico. Com o progresso

das técnicas de investigação experimentais e teóricas, esta área se estendeu a materiais como o vidro, polímeros orgânicos diversos (teflon, poliacetileno etc.), ligas amorfas, e até mesmo aos líquidos, passando a ser conhecida como física da matéria condensada. Nessa área da física trabalham atualmente mais de 40% dos físicos em todo o mundo e a cada ano surgem novas linhas de pequisa, impulsionadas pela descoberta de novos fenômenos e materiais artificiais. Essas linhas, por sua vez, aumentam o potencial para o desenvolvimento de novos dispositivos que encontram aplicações nos mais variados segmentos tecnológicos.

Entretanto, não foi apenas por causa de sua importância tecnológica que a nova área se desenvolveu rapidamente. A enorme variedade de fenômenos que os elétrons e os núcleos apresentam coletivamente em sólidos deu origem a descobertas fundamentais e excitantes. A física da matéria condensada é, atualmente, uma das áreas mais estimulantes da ciência, contribuindo continuamente para a descoberta de novos fenômenos fundamentais e de novos materiais avançados. Apenas nos últimos 10 anos podem-se destacar: a descoberta do efeito Hall quântico; o desenvolvimento de estruturas artificiais formadas por materiais semicondutores ou materiais magnéticos, fabricados pela deposição sucessiva de monocamadas atômicas formando super-redes, heteroestruturas ou poços quânticos; a descoberta de efeitos magnéticos e eletrônicos em sistemas de dimensionalidade menor que três; a identificação e compreensão de fenômenos críticos e transições de fase em sistemas complexos; a formulação teórica e a observação experimental de fenômenos de turbulência e caos em uma grande variedade de sistemas; a descoberta de processos de condução por ondas de densidade de carga; e, mais recentemente, a síntese de materiais supercondutores a temperaturas mais altas.

Uma característica importante desta área é seu caráter descentralizador. É possível investigar um problema de fronteira em materiais com laboratórios de custos e dimensões muito pequenos em comparação com os das grandes máquinas utilizadas na física nuclear ou de partículas. Além disso, ela utiliza uma grande variedade de técnicas experimentais baseadas em instrumentação eletrônica, óptica e criogênica, favorecendo, portanto, a formação de técnicos e pesquisadores. Estas duas características, laboratórios pequenos e com grande variedade de técnicas, associadas a uma proximidade com a tecnologia, são responsáveis pela disseminação desta área de pequisa em todo o mundo, assim como no Brasil.

Física atômica, molecular e óptica

A física atômica e molecular estuda a estrutura e os fenômenos eletrônicos em átomos individuais ou em átomos que compõem moléculas isoladas. As tentativas de entender a estrutura dos átomos constituíram a base da física moderna, desenvolvida nas décadas de 20 e 30. Depois de resolvidos os problemas mais simples, o interesse dos físicos se deslocou para as áreas da física nuclear e de partículas elementares e, mais tarde, para a do estado sólido, dei-

xando os problemas da estrutura de moléculas para os químicos. Nas últimas décadas, entretanto, graças ao desenvolvimento dos lasers, das modernas técnicas ópticas e de produção de feixes atômicos e moleculares, esta subárea foi revolucionada, tornando-se uma das mais importantes da física. Como as técnicas ópticas são atualmente uma das principais ferramentas para o estudo de átomos e moléculas e, por outro lado, átomos e moléculas constituem os sistemas mais simples para o teste de fenômenos de interação radiação-matéria, a óptica é freqüentemente incorporada à mesma subárea da física atômica e molecular.

Nesta subárea, a introdução de novas técnicas espectroscópicas tem possibilitado medidas muito precisas de várias grandezas fundamentais e colocado novos desafios do ponto de vista teórico. Uma lista não-exaustiva dos novos fenômenos e linhas de pesquisa que têm merecido muita atenção nos últimos anos inclui: estudo da espectroscopia de átomos e moléculas; aprimoramento e manipulação de um pequeno número de átomos e íons; efeitos de fotodissociação molecular e fotoionização atômica; produção e manipulação de átomos gigantes; múltiplos efeitos de interação da luz com a matéria condensda, em particular o estudo dos fenômenos ultra-rápidos; observação de efeitos de interação fraca em física atômica; produção de estados quânticos do campo eletromagnético; espectroscopia e dinâmica de superfícies; eletrodinâmica quântica de cavidades; estudos básicos de propagação de pulsos eletromagnéticos em sistemas atômicos e em sólidos; produção de íons pesados e estudos de colisões atômicas, entre outros efeitos.

Por outro lado, o surgimento dos grandes computadores tem estimulado bastante os trabalhos teóricos sobre estruturas eletrônicas de átomos e moléculas e para o cálculo de propriedades específicas de átomos e moléculas. Os cálculos teóricos têm sido incentivados não somente pelo seu interesse intrínseco, mas também pelos resultados experimentais obtidos a partir de novas técnicas espectroscópicas com lasers e de fotoelétrons.

Física de plasmas

A física de plasmas investiga movimentos coletivos de partículas carregadas, elétrons ou íons, ou estados de equilíbrio destas partículas, sujeitas à ação de seus próprios campos. Este conjunto de partículas e campos representa um meio fluido chamado plasma. Em particular, são tratadas questões como confinamento de plasma, equilíbrio e sua estabilidade, aquecimento e propriedades de transporte, propagação de ondas, interação de partículas com onda, instabilidades, turbulência e caos.

Os plasmas são encontrados na natureza, como em descargas elétricas (relâmpagos), na ionosfera, no espaço interplanetário e intersideral, na corona solar, nas estrelas, anãs brancas e pulsares. Também são produzidos em laboratórios, como em descargas elétricas, em equipamentos de pesquisa em fusão

nuclear, em lasers a gás, dispositivos semicondutores e metálicos e em equipamentos industriais a plasmas. Nos últimos anos, o domínio do confinamento de plasmas a altas temperaturas avançou muito, tornando possível visualizar, no futuro, a fusão controlada para geração de energia, em processo semelhante ao que ocorre no sol e nas estrelas.

Áreas interdisciplinares

São as que reúnem duas ou mais áreas da ciência ou da tecnologia, em que uma delas é necessariamente a física. A principal dificuldade da pesquisa nessa área é a necessidade de se somarem competências de mais de um setor de atividade científica. Algumas dessas áreas de maior atividade no país estão descritas a seguir.

Ciência dos materiais. A subárea de ciência dos materiais está situada na fronteira entre a física e a tecnologia de materiais. Sua importância reside no desenvolvimento de novos materiais de uso tecnológico, na compreensão básica das propriedades de materiais, e como elemento de formação de pessoal técnico-científico de alto nível, capaz de enfrentar futuros desafios tecnológicos. A variedade de técnicas, tanto experimentais quanto teóricas, modernas ou clássicas de alta sofisticação, usadas nesse campo, contribui para sua grande aproximação com a física da matéria condensada.

Incluem-se nesta subárea o crescimento e preparação de cristais, materiais amorfos, filmes e multicamadas, o estudo de propriedades (térmicas, mecânicas, elétricas, magnéticas e ópticas) desses materiais e de processos de corrosão e oxidação, além da preparação de dispositivos eletrônicos feitos com os diversos materiais.

Biofísica, física médica e engenharia biomédica. Nos últimos anos, tem-se acentuado o interesse de um grande número de físicos no estudo dos processos biológicos. A biofísica abrange um vasto campo de interesses, que compreende problemas complexos e altamente desafiantes, exigindo pessoal com boa formação em física e em biologia. Pode ser qualificada como uma área interdisciplinar onde técnicas clássicas, como raios X, têm sido extensamente utilizadas ao lado de técnicas espectroscópicas mais modernas, como espectroscopia de batimento óptico, espectroscopia Raman, ressonância eletroparamagnética, efeito Mössbauer etc.

Em paralelo a essas atividades de pesquisa básica, tem-se desenvolvido de forma acelerada o uso de técnicas largamente utilizadas por físicos e engenheiros na área médica, dando origem à física médica ou engenharia biomédica. As técnicas mais empregadas são ultra-som, raios X para diagnose médica, radiações

ionizantes para tratamento do câncer, e sinais elétricos das mais diversas origens, tanto em diagnose (por exemplo, em eletrocardiograma) quanto em análise clínica (medidores contínuos de concentração de íons). O uso da eletrônica digital e de métodos computacionais no tratamento de sinais obtidos pelos mais variados tipos de transdutores é, também, uma área de grande progresso. O desenvolvimento de órgãos artificiais e os mais variados tipos de equipamentos auxiliares, como criobisturi, magnetocardiógrafo e tomógrafo de RMN, também se inclui na área de engenharia biomédica.

Geofísica. Muitos métodos teóricos e experimentais da física têm contribuído para a compreensão geofísica das três fases da Terra: o planeta sólido, os oceanos e a atmosfera. As técnicas de análise de rochas são as mesmas utilizadas para investigar cristais em física da matéria condensada. A sismologia moderna é baseada em técnicas ópticas com laser. Técnicas eletromagnéticas são usadas para determinar a presença de minerais e de petróleo sob a crosta terrestre. Na atmosfera, a análise da massa de ar turbulento está sendo feita com técnicas de dinâmica de fluidos e computação em larga escala. Esta área interdisciplinar de investigação une físicos, geólogos, matemáticos e engenheiros, na busca de soluções para problemas complexos e de grande importância para a melhoria da vida na Terra.

Fontes não-convencionais de energia. A importância crescente que os problemas de energia assumiram no desenvolvimento das nações modernas na última década trouxe aos físicos novas e importantes oportunidades e desafios. Estes problemas decorrem basicamente da necessidade de desenvolver novos métodos de produção de energia (solar, eólica, gradiente térmico dos oceanos, mares etc.) e de aumentar a eficiência das máquinas comuns, baseadas no uso dos combustíveis fósseis convencionais (carvão, petróleo e gás). Em geral, os métodos e aparelhos envolvidos funcionam na base das leis da mecânica clássica e são conhecidos há muito tempo, havendo, porém, sérios problemas de engenharia na sua realização prática.

Muitos físicos estão participando do estudo dos problemas de energia, ao lado de engenheiros, economistas, urbanistas e cientistas sociais, com uma contribuição significativa para os progressos no campo.

Ensino básico de física

Como a física é uma disciplina básica do segundo grau e de cursos superiores de ciências exatas, engenharia, medicina, farmácia etc., seu ensino requer um contínuo aperfeiçoamento tanto conceitual quanto metodológico. No Brasil, como nos países desenvolvidos, existe um grande número de profissionais dedi-

cados a atividades relacionadas com a melhoria do ensino básico de física, com destaque para a produção de materiais instrucionais e tecnologias educacionais, adequados aos diversos níveis, e para a avaliação de sua eficiência no aprendizado; o estudo de concepções alternativas em física e sua influência no aprendizado, a experimentação de metodologias alternativas de ensino; a produção de material didático e de divulgação, como textos científico-pedagógicos e vídeos; os trabalhos voltados para a melhoria do professor e do sistema educacional; a investigação teórica e experimental do processo de ensino-aprendizado; a investigação histórica e filosófica da física e da ciência como um todo.

2. A física no Brasil

Breve histórico

A física foi introduzida no Brasil como uma disciplina básica dos cursos de engenharia criados no final do século passado. Entretanto, somente na década de 30, graças à vinda para o Brasil de alguns físicos europeus, foram criados os primeiros grupos de pesquisa de fronteira. Gleb Wataghin implantou a pesquisa em física nuclear e partículas na recém-criada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, em São Paulo, enquanto no Instituto Nacional de Tecnologia, no Rio de Janeiro, Bernard Gross deu início à investigação na área de física dos sólidos. Os dois foram responsáveis pela formação de escolas essenciais ao desenvolvimento posterior da física no Brasil.

No decorrer da década de 40 firmou-se a geração que realmente fundamentou a construção da física e contribuiu para o desenvolvimento da ciência no país. Foram implantados na USP os primeiros aceleradores de partículas nos grupos experimentais de física nuclear, enquanto Mário Schenberg ganhava projeção internacional por seus trabalhos teóricos em física nuclear e partículas. No Rio de Janeiro, Gross e seu discípulo Joaquim Costa Ribeiro faziam as primeiras descobertas de vulto em transições de fase em sólidos no Instituto Nacional de Tecnologia. Na área teórica, José Leite Lopes e Jayme Tiomno nucleavam um grupo de partículas muito ativo na Faculdade de Filosofia da Universidade do Brasil. Eles propiciaram a volta para o Rio de César Lattes, que acabara de participar das experiências da descoberta do méson na Inglaterra, e com ele fundaram, em 1949, o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF. O dinamismo e o prestígio desse grupo foram também decisivos para a criação, em 1951, do Conselho Nacional de Pesquisas, o CNPq, que foi fundamental para o desenvolvimento da ciência no país.

Na década de 50, os laboratórios de física nuclear da USP passaram por uma fase de expansão, sob a liderança de Oscar Sala e José Goldemberg, com a instalação de dois aceleradores nucleares, um Betatron e um Van de Graff. Por sua vez, o CBPF rapidamente ganhou prestígio internacional em física teórica

nuclear e de partículas. Nesta fase, a USP e o CBPF atraíram visitantes de altíssimo nível, alguns dos quais viriam mais tarde a ganhar o Prêmio Nobel de Física, como Richard Feynman. Devido ao *glamour* dessas áreas, a quase totalidade dos físicos jovens brasileiros na década de 50 foi atraída para elas. Em conseqüência, em 1960, quando o transistor já tinha mais de 10 anos de existência e o laser já tinha sido inventado, não havia mais que meia dúzia de físicos de estado sólidos ativos no país. Só mais tarde a física da matéria condensada ganharia impulso no Brasil.

A expansão da física no país acelerou-se na década de 60, viabilizada, em grande parte, pela criação do Funtec do BNDES. No início da década, por iniciativa de Mário Schenberg e Newton Bernardes, foi criado o primeiro grupo teórico e experimental de sólidos e baixas temperaturas na USP. Também ganhou vulto o grupo de sólidos de Sérgio Mascarenhas na Escola de Engenharia da USP em São Carlos, e surgiram grupos de física nuclear e física de sólidos nas universidades federais do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais e na PUC do Rio de Janeiro. Com a criação, em 1965, dos programas regulares de pós-graduação, o número de físicos em atividade no país cresceu rapidamente. A criação da Universidade de Brasília, com a participação de vários físicos, trouxe grande entusiasmo pela perspectiva de modernização das estruturas acadêmicas que ela representava. Mais tarde, o governo militar abortou a experiência da UnB e cassou os direitos políticos de físicos importantes, como Leite Lopes e Tiomno, com efeitos amplamente negativos no desenvolvimento da física. Apesar disso, e em função da reforma universitária de 1968 e da introdução do regime de trabalho em tempo integral, a física continou a se expandir nas universidades federais em todo o país.

Foi na década de 70 que a física, assim como outros campos da ciência, experimentou seu maior desenvolvimento no Brasil. A criação do FNDCT e sua lúcida gestão por José Pelúcio Ferreira na Finep financiaram a implantação da infra-estrutura de grupos de pesquisa em todo o país. Vários físicos que estavam no exterior retornaram ao Brasil e a eles se juntaram jovens doutores e estudantes dos cursos de pós-graduação apoiados pela Capes e pelo CNPq, no nível federal, e pela Fapesp, no estado de São Paulo. Nessa década, a física da matéria condensada expandiu-se fortemente, estimulada em grande parte por sua inter-relação com a tecnologia avançada. Seu principal impulsionador foi o recém-criado Instituto de Física da Unicamp, mas também em muitas outras instituições do país ela ganhou corpo, como nas universidades federais de Pernambuco, Minas Gerais, Rio dè Janeiro e Rio Grande do Sul, assim como no CBPF, PUC-RJ, São Carlos e na própria USP em São Paulo. A infra-estrutura de grupos de pesquisa em física nuclear também ganhou nova dimensão com a instalação do acelerador Pelletron na USP, em 1972, e a conclusão do acelerador Van de Graff, na PUC-RJ. Porém, a descentralização geográfica e a expansão da física da matéria condensada foram os aspectos mais marcantes do desenvolvimento da física nos anos 70.

A década de 80 foi marcada por uma grande diminuição dos recursos federais destinados à ciência e tecnologia, inclusive à física. Pouquíssimos investimentos de vulto foram realizados nesse período, o que resultou num processo gradual de obsolescência da infra-estrutura de pesquisa. As únicas instituições novas criadas foram o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron do CNPq, em Campinas em 1986, e o Centro Internacional de Física da Matéria Condensada da Universidade de Brasília, em 1989.

A crise do financiamento federal agravou-se nos anos 1990-92, atingindo níveis sem precedentes. Institutos e departamentos de física que contavam com apoio regular da Finep desde a década de 70 tiveram seus financiamentos interrompidos ou drasticamente reduzidos. O CNPq não teve recursos para pagar auxílios para pesquisa aprovados em 1991 e 1992. Em conseqüência, muitos técnicos pagos com verbas de projetos foram despedidos, e atividades de pesquisa foram interrompidas ou tiveram seu ritmo muito reduzido, provocando o desânimo entre pesquisadores e estudantes e estimulando a evasão de bolsistas doutorados no exterior. A crise na física como um todo só não é mais profunda por conta de sua concentração no estado de São Paulo, onde a Fapesp teve suas verbas incrementadas a partir de 1990 e pode compensar a diminuição dos recursos federais. Isto tem provocado uma migração de estudantes e pesquisadores para São Paulo que tende a se acelerar caso a crise federal não seja suplantada.

Evolução quantitativa

Número de doutores

O número de físicos em atividade no país tem aumentado continuamente nas últimas décadas. De 1970 a 1992, o número de doutores passou de 200 para cerca 1.350, o que representa um aumento por um fator 6,5. Um aspecto significativo é a mudança na taxa de crescimento ocorrida a partir de 1986. No período 1970-86 a taxa se manteve aproximadamente constante em 45 doutores/ano. Desde 1986, porém, ela tem aumentado e se aproxima de 100 doutores/ano atualmente.

Formação pós-graduada

O aumento recente na taxa de crescimento do número de doutores no país é resultado direto dos investimentos feitos na década de 70 para a implantação da infra-estrutura de pesquisa. Isto possibilitou a melhoria e a expansão dos cursos de pós-graduação, com o conseqüente aumento do número de estudantes. Enquanto o número de estudantes de mestrado atingiu uma saturação na década de 80, resultado da limitação do fluxo de estudantes formados na graduação, o número de doutorandos no país tem crescido continuamente, atingindo cerca de

700 em 1992. Este número é sete vezes maior que o de bolsistas em programas de doutorado no exterior, cerca de 90 do CNPq e 20 da Capes.

O fruto do contínuo esforço na formação pós-graduada reflete-se no acentuado aumento do número de teses de mestrado e doutorado no país. O número de doutores formados, que se situava na faixa de 30-50 por ano no período 1978-84, aumentou significativamente a partir de 1985, atingindo 100 doutores em 1991.

Investimentos na infra-estrutura de pesquisa

Não foi possível obter dados históricos detalhados sobre os recursos investidos na pesquisa em física no país. Entretanto, a partir das informações dos grupos de pesquisa contidas no documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990), pode-se estimar os investimentos globais feitos para a construção da infra-estrutura. As informações dos grupos são restritas a despesas realizadas com aquisição e/ou montagem de equipamentos, bibliotecas, oficinas de apoio etc., não incluindo construção civil nem pessoal. Os recursos globais investidos nas diversas áreas de pesquisa totalizam US$127 milhões, em sua maior parte provenientes do FNDCT, na década de 70, e não levam em conta os dispêndios em custeio ou pessoal.

Quadro atual

No levantamento sobre o número de pesquisadores, áreas de atuação e produção científica em 34 instituições que desenvolvem pesquisa em física no país, o número total de físicos com doutorado é de 1.233. Acrescentando os físicos doutores atuando em empresas (cerca de 30) e nas instituições menores (da ordem de 40), além de cerca de 50 doutores com bolsas do CNPq nas categorias pós-doutorado, recém-doutor e desenvolvimento regional, estimamos que o número total de doutores no país é, atualmente, cerca de 1.350.

Geograficamente, esses doutores estão distribuídos da seguinte forma: 12% no Norte-Nordeste; 72% no Sudeste; 12% no Sul; e 4% no Centro-Oeste.

Como ocorre em outras áreas da ciência, grande parte dos doutores em física está concentrada no Sudeste (72%) e, mais particularmente, no estado de São Paulo (46%).

3. Avaliação da área

O quadro institucional

A pesquisa em física está disseminada em todo o país. A concentração geográfica no Sudeste já foi maior, e é menos acentuada que em outras áreas da ciên-

cia. Comparativamente com outras áreras, o número de instituições com pesquisa em física é elevado. São 34 com quatro ou mais doutores, dos quais 23 têm programas de mestrado e 14 têm programas de doutorado, a grande maioria com avaliação nível A pela Capes.

Quando comparada com a situação em países desenvolvidos, como os EUA, Japão e Alemanha, a distorção mais evidente do nosso quadro institucional é a enorme concentração dos físicos com doutorado em universidades (cerca de 84%). Nos EUA este percentual é próximo de 33%, com 33% em laboratórios de pesquisa com missões específicas, e os outros 33% na indústria. No Brasil os laboratórios de pesquisa com missões específicas (Inpe, Ipen e LNLS) contam com apenas 9% dos físicos com doutorado, comparados com 33% nos EUA e um percentual ainda maior na Alemanha. Há vários outros institutos federais (INT, IEAV/CTA e Inmetro) e estaduais (Itep em Pernambuco, Ceped na Bahia, Cetec em Minas Gerais e IPT em São Paulo, por exemplo) realizando atividades de pesquisa e serviços que empregam físicos. Apesar de contarem, juntos, com milhares de funcionários, eles têm ao todo não mais que duas dezenas de físicos com doutorado.

O quadro nas empresas é ainda pior. Nos EUA elas empregam cerca de 33% dos físicos com doutorado, dos quais apenas um terço realiza atividade de pesquisa em física. Os outros dois terços ou não estão envolvidos com física ou não realizam pesquisa propriamente dita. No Brasil, por outro lado, de acordo com o levantamento de 1986 (Sociedade Brasileira de Física, 1987), o número de doutores em física nas empresas não ultrapassava 30, equivalendo a um percentual da ordem de 2-3% atualmente. Há várias razões para este baixíssimo percentual. A primeira é a pouca atividade de pesquisa na indústria. No caso das empresas multinacionais, não há projetos de pesquisa e desenvolvimento nas filiais brasileiras. Seus laboratórios de P&D estão localizados nos países centrais. Por sua vez, as empresas brasileiras, tanto privadas quanto estatais, importam "pacotes", "caixas-pretas" e matrizes de fabricação e, de uma maneira geral, também não têm atividades de P&D. Há apenas algumas exceções expressivas, como é o caso da Telebrás, que montou laboratórios de P&D com apoio da Unicamp, sendo hoje uma das poucas empresas do mundo que detém a tecnologia de comunicação óptica. Outra razão é de ordem cultural. A carreira de físicos no Brasil é recente, e freqüentemente é associada a atividades acadêmicas ou de ciência desvinculada da realidade mais imediata. É ao engenheiro que se recorre para preencher cargos técnicos ou realizar atividade de absorção/desenvolvimento de tecnologia. No entanto, este não é o quadro nos países industrializados, onde as atividades em certas áreas de tecnologia de ponta na indústria são dominadas por físicos, como é o caso da óptica, dos materiais para eletrônica, da criogenia, e várias outras. Não fosse essa questão cultural, o espaço dos físicos na indústria nacional seria muito maior, mesmo porque a formação experimental do físico no Brasil é mais sólida que a do engenheiro. Finalmente, outra razão para o baixo número de físicos doutores na indústria é que o mercado acadêmico ainda consegue absorver a grande maioria dos formados. Nos EUA, ainda hoje, a primeira preferência do recém-doutor em física é a carreira universitária, onde ele tem assegurada a possibilidade de fazer pesquisa em sua área. Entretanto, não há lugar para todos. Somente a partir dos anos 60, devido à enorme competição por empregos nas universidades e nos laboratórios do governo, os físicos passaram a ingressar em número significativo na indústria. No Brasil, esta transição ainda não ocorreu. A indústria não procura físicos, pois desconhece sua utilidade, enquanto os físicos não querem ir para a indústria, pois preferem as universidades e institutos de pesquisa.

Outra distorção no quadro institucional brasileiro, na nossa opinião, refere-se ao tamanho dos departamentos/institutos universitários. Nos EUA, a maioria dos departamentos tem cerca de 30 a 50 com posição permanente. No Brasil, quatro institutos de física têm mais de 100 docentes: na UFRJ, UFF, USP-São Paulo e Unicamp, sendo que na USP o número se aproxima de 200. Este grande número de docentes é, em geral, justificado pela necessidade do ensino de disciplinas de física para diversos cursos profissionais. Esta necessidade tem levado os institutos/departamentos a contratarem docentes prematuramente, que adquirem estabilidade de emprego antes de mostrarem sua independência científica ou mesmo titulação pós-graduada adequada. Inevitavelmente, uma fração desses docentes nunca atinge essa independência e não contribui significativamente para a produção científica nem para a formação de pós-graduados, concorrendo em parte para a baixa produtividade de alguns "megainstitutos" do país. A solução encontrada por alguns departamentos do país, como PUC-RJ, UFPe e, mais recentemente, UFMG, para fazer face às necessidades de ensino sem "inchar" o corpo docente, tem sido a utilização de estudantes bolsistas de pós-graduação como auxiliares de ensino, a exemplo do que é feito em vários países desenvolvidos.

Massa crítica e capacidade de reprodução

O número atual de doutores em física no país, 1.350, é pequeno para nossas necessidades de ensino e de pesquisa, qualquer que seja o critério de análise. Tomemos, por exemplo, a comparação com países desenvolvidos, levando em conta o tamanho relativo da economia de cada um. Os EUA têm um PIB anual de US$5,3 trilhões e cerca de 33 mil físicos doutores. O PIB do Japão é cerca de metade do americano, enquanto o da Alemanha é um quarto, tendo eles um número de físicos que guarda com seus PIBs uma proporção semelhante à dos americanos, ou seja, aproximadamente 1.000 físicos para cada US$160 bilhões de PIB. Podemos, então, considerar que este número representa um fator adequado para indicar a inserção correta das atividades dos físicos na economia. Como o PIB do Brasil é de cerca de US$400 bilhões, por este critério o país deveria ter hoje 2.500 físicos, um número 85% maior que o atual. Evidentemente, este critério é bastante conservador, pois nosso PIB atual é muito pequeno para as

necessidades da população do país. Entretanto, ele mostra que, mesmo para nossas atuais condições de desenvolvimento, o número de físicos no Brasil é insuficiente. Isso se reflete nas atividades de pesquisa em várias áreas, que não têm massa crítica em algumas especialidades importantes, e na ausência de físicos em setores importantes da economia.

O número de doutores é insuficiente até mesmo para suprir as necessidades de ensino superior. Seria desejável, no mínimo, que todos os docentes com mestrado, em número maior que 400, fossem doutores. Outra argumentação é baseada no tamanho das instituições. Dentre as 30 instituições de ensino computadas no levantamento, 14 contam com menos de 25 docentes com doutorado. O número adicional de doutores para que estas 14 instituições e outras seis que não constam do levantamento (UFPI, UFMA, UFRPe, UFMS, UFRRJ e UFPEL, por exemplo) tenham 25 doutores cada uma é 340, valor este muito próximo daquele anteriormente mencionado. Este número, somado ao de doutores existentes atualmente, atingiria o total de 1.700. Coincidentemente, este número é o mesmo que foi considerado desejável para as instituições de ensino no documento de avaliação e perspectivas do CNPq de 1982 (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982). Evidentemente, para que a pesquisa em física contribua mais efetivamente para o desenvolvimento do país é essencial haver mais laboratórios não-universitários com missões específicas, além de P&D nas empresas. Como foi assinalado anteriormente, nos países industrializados, 70-75% dos físicos exercem atividades nestes setores. Assim, o número de 2.500 físicos obtidos pelo critério da proporção com o PIB seria a massa crítica mínima desejável para o corrente ano. Contando que o PIB do país possa crescer a uma taxa média anual de no mínimo 2,0% nesta década, obtemos um número aproximado de 3 mil doutores no fim da década. Coincidentemente, este é também o número mínimo de doutores para o final do século proposto pelo documento A&P de 1982 (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982), com base em argumentos diversos.

Para alcançar esta meta no ano 2000 seria necessário adicionar ao sistema cerca de 1.600 doutores em oito anos, correspondendo a uma taxa média de 200 doutores/ano, o que é um número bem maior que nossa capacidade de formação nas condições atuais. No último ano foram formados cerca de 100 doutores em física no país e 25 no exterior, totalizando um número 40% menor que o necessário. Para agravar o quadro, entre os formandos no exterior, uma parcela sem precedentes não está retornando ao país, e um número crescente de doutores está deixando o sistema de pesquisa por aposentadoria precoce. Entretanto, com uma reversão do quadro atual, a meta de 3 mil doutores em torno do ano 2004 é perfeitamente viável. Para isto, seria necessário que grande parte dos novos doutores se incorporasse ao sistema de formação pós-graduada, de modo a assegurar uma taxa constante de acréscimo de doutores.

Física teórica e física experimental

Os doutores experimentais representam 50% do total de físicos do país. Nos países desenvolvidos, a fração de físicos experimentais é muito maior, da ordem de 70-75%, pois a física é fundamentalmente uma ciência experimental e é nesta atividade que existe maior oferta de empregos na indústria e nos laboratórios não-universitários. Nos países subdesenvolvidos, entretanto, as dificuldades para montar laboratórios e realizar pesquisa experimental são muito grandes, o que, em geral, resulta numa ciência teórica, concentrada em universidades e até mais distantes dos problemas concretos da sociedade. Este era também o quadro da física no Brasil na década de 60. Felizmente, como decorrência dos investimentos nos laboratórios de pequeno porte de matéria condensada feitos na década de 70, bons estudantes de doutorado têm sido atraídos para a física experimental, e essa distorção tem diminuído. A fração de 50% de experimentais nos dias de hoje é significativamente maior que no início da década de 70. Outro indicador da redução da distorção é que a proporção de teses experimentais defendidas, tanto no mestrado quanto no doutorado, aumentou continuamente na década de 80, ultrapassando os 50% nos últimos cinco anos. É de fundamental importância que essa tendência se torne ainda mais acentuada de modo a que a proporção de físicos experimentais se aproxime da faixa de 60-70% no ano 2000. São esses físicos que, de uma maneira geral, encontrarão emprego nos laboratórios industriais, em empresas, nos centros de pesquisa com missões específicas e nos institutos estaduais.

Os recursos para a pesquisa e a situação da infra-estrutura

Na avaliação da situação do financiamento da pesquisa em física no país, novamente é necessário recorrer à comparação com países desenvolvidos. Há, nos EUA, cerca de 30 mil físicos doutores, dos quais 10 mil nas universidades e laboratórios nacionais de pesquisa, 10 mil trabalham em física nos laboratórios industriais e 10 mil exercem atividades em outras áreas (consultorias, administração, outros campos da ciência etc.). A pesquisa básica em física nessas instituições é financiada principalmente por quatro agências federais: a National Science Foundation (NSF), a Nasa, o Departamento de Energia (DOE) e o Departamento de Defesa (DOD). Nos últimos anos, essas quatro agências despenderam em média com a física cerca de US$900 milhões/ano (NSF 16%, Nasa 11%, DOD 12% e DOE 39%, esta última principalmente com laboratórios nacionais), o que corresponde a US$90 mil/doutor-ano em média nas universidades e laboratórios nacionais. Essa quantia inclui os salários dos pesquisadores dos laboratórios federais, mas não os dos professores universitários, que são pagos pelas universidades, mantidas pelos estados ou por recursos privados.

Por outro lado, no Japão, a pesquisa nas universidades é quase totalmente financiada pelo Ministério da Educação. Lá existem em todas as áreas cerca de

450 mil cientistas, dos quais 230 mil estão na indústria, 180 mil nas universidades e 40 mil nos laboratórios. O orçamento do Ministério da Educação em 1986 foi de US$9 bilhões, o que corresponde a US$50 mil/cientista-ano. Este número é semelhante ao americano, se levarmos em conta que ele inclui áreas menos dispendiosas que a física.

No Brasil, os recursos federais para pesquisa, por doutor, são bem menores que nos países industrializados, qualquer que seja o critério utilizado para suas estimativas. Os recursos globais investidos para a construção da infra-estrutura de pesquisa em física foram de US$127 milhões, em valores atualizados. Supondo que eles correspondam a 30% dos recursos totais despendidos nessa área, estes seriam de US$423 milhões, incluindo salários. Considerando-se que eles foram gastos, em sua quase totalidade, no período 1970-92, e que o número médio de doutores nesse período foi de 700, tem-se um investimento médio de US$27 mil/doutor-ano. Esse valor é consistente com estimativas anteriores de US$55 mil/doutor em 1981 (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982), ano próximo do pico do financiamento de C&T no país, e US$30 mil/doutor-ano no período 1980-85 (Sociedade Brasileira de Física, 1987), uma vez que a crise dos últimos anos resulta numa diminuição da média do período 1970-92.

Esse baixo nível de financiamento reflete-se diretamente no estado atual da pesquisa em todas as subáreas da física. Nunca foi possível construir um acelerador de partículas competitivo e, conseqüentemente, a pesquisa em partículas elementares no país é quase inteiramente teórica. A pesquisa em física nuclear conta essencialmente com um acelerador no país, o Pelletron da USP, instalado em 1972, que está ultrapassado para os experimentos mais importantes nesta área. No caso de plasmas, o laboratório nacional proposto pela comunidade da área guarda há anos os recursos para sua implantação. Finalmente, em física da matéria condensada, física atômica e molecular e áreas interdisciplinares, cujos laboratórios foram montados em sua maior parte na década de 70, poucos investimentos de vulto foram feitos depois de 1981. Uma conseqüência é a obsolescência generalizada e a falta, nos laboratórios do país, de equipamentos modernos e de maior custo, como aqueles utilizados para fabricação e caracterização de inúmeros materiais artificiais para pesquisa de fronteira e para aplicações tecnológicas nos países desenvolvidos. Outra conseqüência muito preocupante da falta de recursos para investimento é o número crescente de novos doutores formados em física experimental que não conseguem montar laboratórios nos centros mais novos, ou mesmo nas instituições já estabelecidas.

O desempenho na pesquisa

O desempenho dos físicos brasileiros nas atividades de pesquisa no país tem melhorado continuamente desde a década de 60. Em termos puramente quantitativos, foi constatado (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982) que, no período 1974-77, enquanto o número de doutores cresceu de 63%, o número de artigos

publicados em revistas de circulação internacional e com árbitros duplicou. Em 1981, os 700 doutores do país publicaram 556 artigos, perfazendo uma média de 0,8 artigo/doutor (idem). Em 1985, esta média se elevou para 0,9 artigo/doutor (Sociedade Brasileira de Física, 1987). Em 1991, nas 29 instituições que deram informações sobre a produção científica, foram publicados 1.336 artigos por 1.131 doutores, correspondendo a uma média de 1,18 artigo/doutor-ano. Esta média ainda não é satisfatória pelos padrões internacionais, porém é substancialmente maior que no início da década de 70. É preciso considerar também que, comparativamente com físicos de países desenvolvidos, o esforço dos pesquisadores brasileiros com tarefas docentes e administrativas é maior. Outro fator importante a ser levado em conta na análise da produção científica é o estágio de desenvolvimento de muitos grupos de pesquisa do país, que ainda não dispõem de infra-estrutura de laboratórios satisfatória.

Não é apenas na quantidade que a produção científica da física brasileira melhorou no decorrer das últimas décadas. A qualidade dos artigos publicados tem melhorado sensivelmente, o que pode ser constatado pelos seguintes indicadores qualitativos: aumentou a publicação de artigos nas revistas *Physical Review* e *Physical Review Letters*, que têm os mais rígidos critérios para aceitação de trabalhos; vários físicos brasileiros têm mais de 20 citações/ano no *Science Citation Index* nos últimos anos. A melhoria da produção científica brasileira tem resultado em maior intercâmbio em "pé de igualdade" com físicos dos países desenvolvidos, medido pelo aumento de visitas mútuas de trabalho, convites para brasileiros apresentarem trabalhos em congressos internacionais e em capítulos de livros, e participação em comitês organizadores de congressos. Deve ser registrada, também, a contínua participação de físicos brasileiros nas comissões da International Union of Pure and Applied Physics (Iupap), a maior organização mundial na área da física.

O estágio de desenvolvimento e o desempenho qualitativo da pesquisa nas diversas subáreas da física foram recentemente analisados por comissões de especialistas que elaboraram o documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990). As avaliações que se seguem são baseadas em dados e análises contidos naquele documento, porém são muito mais sucintas e exprimem também nossas opiniões.

Física de partículas elementares e áreas correlatas

Esta subárea tem 50 anos de tradição no Brasil, e deu uma contribuição relevante tanto na solução de problemas teóricos quanto em descobertas experimentais. Nela trabalhava a quase totalidade dos físicos brasileiros na década de 50; porém, nos últimos 30 anos ela perdeu importância relativa. Hoje conta com cerca de 200 físicos com doutorado atuando no país, o que representa aproximadamente 15% dos doutores em física. Como a pesquisa experimental de fronteira nessa área é feita em torno de grandes aceleradores não existentes no país, a ativi-

dade científica aqui é essencialmente teórica. Apenas 15% dos pesquisadores da área são experimentais. Estima-se que todos os recursos investidos em infra-estrutura dos grupos experimentais no país não ultrapassem US$6 milhões.

A pesquisa nesta subárea é bastante difundida no país: há 17 instituições com atividade em física de partículas e áreas correlatas. A pesquisa teórica cobre uma grande diversidade de temas, como teoria dos campos, fenomenologia e modelagem de interações, propriedades de partículas, relatividade e gravitação, física matemática e física geral. A pesquisa experimental, por outro lado, é restrita a apenas quatro instituições (USP, Unicamp, CBPF e UFF), e se utiliza de raios cósmicos ou aceleradores. Como os pequenos aceleradores existentes na USP e no CBPF não possibilitam a realização de pesquisa de fronteira, os grupos brasileiros mais ativos têm desenvolvido fortes colaborações internacionais com grupos que trabalham nos grandes aceleradores de partículas, como o do Cern, em Genebra, o do SLAC, em Stanford, e o do Fermilab, em Chicago. Devido ao enorme grau de informatização dos experimentos com aceleradores e à transmissão de dados por correio eletrônico, os grupos brasileiros têm tido acesso cada vez mais rápido aos resultados obtidos, podendo desenvolver pesquisa de alto nível.

Física nuclear

A pesquisa nesta subárea está fortemente concentrada no eixo Rio-São Paulo. As poucas instituições fora dessa região com atividade em física nuclear têm um número reduzido de doutores. Algumas delas, como a UFRGS e a PUC-RJ, sofreram uma drástica redução da pesquisa na área nos últimos anos, com a "conversão" de físicos mais experientes para outras áreas, como física da matéria condensada, atômica e molecular. Em outras, como a UFPe, o grupo de física nuclear extinguiu-se, com a transferência para outros centros de alguns pesquisadores e a aposentadoria dos demais. No momento, há cerca de 130 físicos com doutorado na área da física nuclear, o que representa cerca de 10% do total, metade dos quais teóricos e a outra metade, experimentais.

A pesquisa básica experimental em física nuclear se concentra em torno dos aceleradores instalados na USP, notadamente o Pelletron, embora também exista atividade no Cyclotron do Instituto de Energia Nuclear, no campus da UFRJ, e do reator do Ipen. A exemplo do que ocorre com a pesquisa em partículas elementares, nos últimos anos um número crescente de pesquisadores vem utilizando instalações experimentais no exterior. Estima-se que o total investido na infra-estrutura dos grupos experimentais tenha atingido US$25 milhões.

A pesquisa experimental junto às máquinas da USP é dirigida para duas grandes linhas: o estudo de propriedades e fenômenos nucleares através de processos eletromagnéticos ou de processos induzidos pelas interações fortes. Apesar das dificuldades de recursos para cobrir as despesas de operação e manutenção dessas máquinas maiores, as instalações da USP são utilizadas por um número significativo de pesquisadores de outras instituições, não só do Brasil como de países vizinhos, como Chile e Argentina. Menos dependente de recursos financeiros, a pesquisa teórica em física nuclear cobre um elenco mais diversificado de temas, distribuída por outras instituições do país. Existem, no Brasil, 14 instituições com pesquisa em física nuclear. Na maioria delas, entretanto, os grupos têm menos de cinco doutores, quase todos teóricos.

Física da matéria condensada

A física da matéria condensada recebeu um grande impulso no país a partir da década de 70 com o decisivo apoio dos órgãos de fomento, notadamente a Finep, em função de suas possíveis conseqüências para o desenvolvimento tecnológico. Seu progresso continuou na década de 80, apesar da crise no financiamento da pesquisa nesse período e da perda prematura de seus líderes mais experientes. No total, há cerca de 730 doutores nessa subárea, representando 53% do total, dos quais cerca de 70% são experimentais e 30% são teóricos. Esta é a especialidade da física com a melhor distribuição entre atividades teóricas e experimentais no país, e também a única presente na maioria das instituições; em muitas delas, há grupos consolidados que atingiram qualidade internacional.

A pesquisa no país nessa subárea abrange várias classes de materiais e de técnicas de investigação. No momento, há cerca de 21% dos doutores envolvidos com materiais semicondutores, que são os mais importantes do ponto de vista de aplicações. Este percentual relativamente alto resulta do esforço deliberado feito na década de 80 para intensificar a pesquisa desses materiais no país. Outra especialidade bastante desenvolvida é a física estatística e teoria de sólidos, na qual atuam cerca de 23% dos doutores desta subárea, que têm recentemente utilizado técnicas modernas de simulação de materiais por computador. A distribuição percentual aproximada dos outros doutores por classe de materiais ou técnicas é a seguinte: magnetismo e materiais magnéticos (11%); supercondutividade (6%); óptica e materiais optoeletrônicos (9%); cristais líquidos e polímeros (3%); vidros, cerâmicas e cristais (5%); cristalografia e estrutura de sólidos (7%); ressonância magnética (8%); Mössbauer e outras técnicas de caracterização (8%).

Devido à característica de pequeno porte de laboratórios para investigar propriedades de materiais, os grupos experimentais conseguiram montar laboratórios em quase todas as instituições. Estima-se que o total investido nestes laboratórios e na infra-estrutrura de apoio atinja US$66 milhões. Tendo em vista a enorme variedade de propriedades que podem ser estudadas, não existe propriamente uma superposição de atividades dos vários grupos. Pelo contrário, há uma complementaridade de técnicas de investigação, que tem estimulado bastante os trabalhos em cooperação, resultando num grande amadurecimento da área e possibilitando a publicação de artigos científicos nos melhores periódicos internacionais em linhas de fronteira como: super-redes de semicondutores; efeito Hall quântico; hélio superfluido; sistemas magnéticos desordenados;

fenômenos críticos e transições de fase; turbulência e caos; supercondutividade em altas temperaturas etc. Finalmente, é importante registrar que a proximidade dos problemas de tecnologia avançada tem levado muitos físicos da matéria condensada a interagirem com empresas, colaborando em questões de absorção de tecnologia, P&D e, até mesmo, criando empresa própria ou propiciando a instalação de laboratórios industriais. Os exemplos mais notáveis são a criação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás e de inúmeras empresas de alta tecnologia em torno da Unicamp e das universidades estadual e federal em São Carlos.

Física atômica, molecular e óptica

A pesquisa nesta subárea é relativamente recente no país, mas está crescendo rapidamente e, hoje, envolve físicos e químicos em cerca de 11 instituições. Estima-se que cerca de 100 doutores em física trabalhem na área, o que corresponde a 8% do total. Na área teórica, a ênfase é no cálculo da estrutura eletrônica de átomos e moléculas, utilizando computadores e métodos de cálculos cada vez mais sofisticados. No lado experimental, alguns grupos, originalmente de outros campos, migraram para essa subárea. É o caso do grupo de física nuclear da PUC-RJ que, ao constatar que seu acelerador Van de Graaff tornou-se obsoleto para a investigação de núcleos, deslocou-se gradualmente para atividade de física atômica. Outros exemplos são os grupos de óptica da UFPe e da USP-São Carlos, nos quais vários pesquisadores estão utilizando lasers para investigação de propriedades de átomos e moléculas. Essas "conversões" foram possíveis porque as técnicas experimentais utilizadas para estudar átomos e moléculas são essencialmente as mesmas usadas na investigação de outros aspectos da matéria. É possível que, no lado experimental, outros grupos de física nuclear ou de matéria condensada passem, no futuro, a se envolver com os novos problemas da física atômica e molecular.

Física de plasmas

Iniciada na década de 70, esta é também uma área da atividade recente no país. Mais do que qualquer outra subárea, ela está fortemente concentrada no eixo Rio-São Paulo, em torno de poucas instituições. Nela atuam cerca de 50 doutores, correspondendo a 4% do total, que se dividem igualmente entre teóricos e experimentais. No lado teórico, há competência internacional em certas linhas, como interação eletromagnética com plasmas, estabilidade magneto-hidrodinâmica e física de confinamento magnético. A pesquisa experimental de maior vulto é feita em torno de máquinas de médio porte construída no Inpe, USP e Unicamp. Estima-se que tenha sido de US$7 milhões o total investido na infra-estrutura experimental dessa área em todas as instituições.

Motivado pelo potencial de geração de energia por fusão termonuclear controlada, o Ministério das Minas e Energia criou em 1982, através da Cnen, o Programa de Física de Plasma, que impulsionou as atividades nessa área em várias instituições. A articulação da comunidade da área em torno deste programa levou o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) a elaborar, em 1987, o Programa Nacional de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada, prevendo, inclusive, a criação de um laboratório nacional de plasmas. Devido a dificuldades financeiras e até políticas (relativas à definição do local do laboratório), até hoje este plano não saiu do papel.

Áreas interdisciplinares

Há no país atualmente cerca de 70 físicos doutores trabalhando em diversas áreas interdisciplinares, representando, aproximadamente, 5% do total de doutores. Embora seja um número ainda pequeno, representa um aumento significativo se comparado com o início da década de 80. Este número reduzido de pesquisadores não decorre da falta de interesse ou da pequena importância dessas áreas. Ao contrário, os problemas de pesquisa básica nessas áreas são, em geral, muito interessantes e desafiadores, e elas costumam ter grande potencial de aplicação. A maior dificuldade para a formação e manutenção de grupos de trabalho nessas áreas reside na necessidade de se contar com especialistas de diferentes subáreas interessados em problemas comuns e com apoio financeiro para montar laboratórios com técnicas variadas.

As áreas interdisciplinares com maior atividade no país atualmente são: física biológica, físico-química, física médica e instrumentação. Em algumas dessas áreas estão sendo feitos trabalhos de fronteira que são publicados nas melhores revistas internacionais. Em outras, as atividades são predominantemente de absorção e domínio de tecnologias para aplicação rotineira a situações do país. As atividades na área de instrumentação com freqüência têm resultado em produtos comercializáveis que são repassados para indústrias existentes ou que propiciam até a criação de novas empresas. Duas áreas importantes nas quais há pouco envolvimento de físicos são ciência de materiais e fontes renováveis de energia, que apresentam enorme deficiência de recursos humanos no país, apesar de sua importância estratégica para nosso desenvolvimento.

O maior empreendimento no país com característica interdisciplinar é a fonte de luz síncrotron que está sendo construída no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas. A máquina consiste em um acelerador de elétrons e um anel de armazenamento no qual os elétrons circulam em alta velocidade e produzem radiação eletromagnética de grande intensidade, cobrindo extensa faixa de energia. Essa radiação pode ser utilizada com inúmeras finalidades, desde a pesquisa básica em sólidos, átomos, moléculas e materiais biológicos e aplicações variadas, como fotolitografia para fabricação de circuitos eletrônicos de alta integração. A fonte de luz do LNLS está sendo

construída por uma equipe de físicos, engenheiros e técnicos bem-coordenados, utilizando inúmeros componentes desenvolvidos em parceria com a indústria nacional. Já foram investidos cerca de US$11 milhões no projeto, que representa a primeira experiência brasileira na construção e, posteriormente, na operação de um laboratório de física de porte, com caráter nacional, para ser utilizado por grande número de usuários.

Ensino básico de física

Esta não é, propriamente, uma subárea de pesquisa como as anteriores, pois não produz novos conhecimentos de fronteira na física. No entanto, como no Brasil ela envolve cerca de 60 doutores em física (5% do total), merece ser analisada individualmente.

O ensino básico de física, tanto no segundo grau quanto no início do curso universitário, é da maior importância para a formação geral do cidadão e a de profissionais em diversas áreas da ciência e tecnologia. Nos países desenvolvidos, as escolas secundárias dispõem de laboratórios de ensino equipados com materiais encontrados comercialmente e professores bem-formados e bem-remunerados. No ciclo básico dos cursos universitários, o ensino é comandado por professores experientes que, na sua totalidade, exercem, ou já exerceram, atividades de pesquisa em alguma área de fronteira. Muitos deles, após anos de experiência, tornam-se especialistas no ensino básico universitário e contribuem também para a melhoria do professorado e do material didático dos cursos secundários.

No Brasil, a degradação do ensino secundário e a expansão das universidades ocorridas principalmente na década de 70 tornaram agudos os problemas de ensino, fazendo com que vários físicos se preocupassem com ele. Na falta de maior número de físicos experientes dedicados às questões do ensino, foram criados, nas últimas duas décadas, vários programas de mestrado e dois de doutorado para a formação de especialistas em ensino. Aos doutores formados nesses programas somam-se aqueles que atuavam em outras áreas e hoje dedicam-se somente às questões do ensino. Esta comunidade tende a supervalorizar as atividades de ensino e seu caráter de pesquisa original. A isto se contrapõe a crítica exacerbada feita a essa subárea por parte de vários pesquisadores das áreas de fronteira. Nossa posição é intermediária, reconhecendo a importância de a universidade atuar para melhorar o ensino básico de ciências, tendo, porém, o cuidado de limitar a expansão dos grupos de especialistas exclusivos do ensino. Projetos de melhoria de material didático, livros e *kits* de laboratório devem ser produzidos — e têm sido assim — com a participação de pesquisadore das áreas de fronteira. Esta participação deve ser encorajada ainda mais.

O número de programas de pós-graduação em ensino nas instituições de física, sete de mestrado e um de doutorado (USP), é mais que adequado, principalmente no nível de doutorado. Sua expansão exagerada deve ser evitada para

não acarretar a formação de um número demasiado grande de especialistas em ensino, que nunca participaram da atividade de geração de conhecimento novo em física. Por outro lado, não há qualquer objeção à expansão dos programas de pós-graduação junto aos departamentos/faculdades de educacão com a participação direta dos físicos, visando principalmente formar e aperfeiçoar professores secundários.

Atividades em outras áreas

Embora a divisão de áreas da física adotada neste documento tenha sido considerada a mais adequada para descrever a situação da física no Brasil, estando de acordo com a divisão estabelecida pela Sociedade Brasileira de Física (1990), ela não é detalhada o suficiente para explicitar certos campos de pesquisa, que, a rigor, não se enquadram nas subáreas específicas anteriormente mencionadas. Este é o caso de subáreas teóricas como física matemática, cosmologia, relatividade e gravitação, nas quais trabalham pesquisadores no Brasil. Há também certos campos importantes com pouquíssima atividade no Brasil, como dinâmica de fluidos, cujos fenômenos não-lineares estão sendo muito estudados atualmente. Contudo, há uma singularidade que não deve deixar de ser mencionada, qual seja a de áreas chamadas clássicas, como eletromagnetismo e óptica. Alguns físicos teóricos no Brasil deram grandes contribuições a essas áreas, como Gleb Wataghin, nas décadas de 30 e 40, Guido Beck, nos anos 50 e 60, e, posteriormente, H. Moysés Nussenzveig. Nussenzveig é um dos físicos brasileiros mais citados atualmente e um dos poucos que receberam prêmios internacionais importantes em toda a nossa história.

4. Recomendações para o desenvolvimento da área

As proposições e recomendações que se seguem incorporam antigas recomendações de comissões de físicos expressas nos documentos *Avaliação e perspectivas*, do CNPq (1978 e 1982), adaptadas ao momento atual, além de proposições de alocação de recursos por áreas apresentadas no documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990). Entretanto, todas elas têm o viés da nossa opinião e assumimos inteira responsabilidade por sua redação final.

As recomendações são apresentadas em quatro grupos distintos. O primeiro refere-se a questões gerais do financiamento da pesquisa. O segundo apresenta recomendações específicas para o financiamento de subáreas da física. O terceiro contém proposições relativas à formação de recursos humanos. Finalmente, o último contém recomendações específicas sobre diversos assuntos. Todas as recomendações são precedidas por um pequeno preâmbulo explicativo de sua motivação.

Laboratórios associados

No documento de A&P do CNPq de 1978, época em que a Finep atuava de forma satisfatória com financiamentos bienais, já se chamava a atenção para a necessidade de garantir às instituições recursos por prazo de cinco anos, criando condições para o planejamento adequado de projetos de pesquisa. Desde então a comunidade científica tem reivindicado a criação de entidades de pesquisa associadas ao CNPq, como forma de garantir a estabilidade do financiamento a longo prazo. Com a crise aguda dos últimos anos, esta proposta ganha importância.

• Recomendação 1: entidades/laboratórios associados

A criação de entidades/laboratórios associados ao MCT/CNPq, com uma rubrica específica no Orçamento da União, é uma medida inadiável. Esta parece ser a forma mais adequada de garantir aos grupos/instituições de reconhecida competência em pesquisa a estabilidade financeira a médio prazo. O orçamento das entidades selecionadas deve incluir primordialmente o custeio de sua operação, deixando no máximo 20% para investimentos. As solicitações de investimento devem ser submetidas pelos grupos de pesquisa aos órgãos/programas de fomento para projetos específicos de pesquisa/desenvolvimento.

Volume de recursos para a pesquisa em física

De acordo com a análise apresentada neste artigo, mesmo sem levar em conta a crise aguda dos últimos três anos, o dispêndio médio por doutor em física caiu continuamente durante a década de 80. Em conseqüência, a maior parte da infra-estrutura de pesquisa instalada nos anos 70 está se tornando obsoleta, ameaçando comprometer seriamente o futuro da pesquisa experimental no país. Além disso, muitos jovens doutores sequer conseguem iniciar pesquisa experimental, principalmente nas instituições mais novas. É essencial que os órgãos federais de fomento, em especial CNPq e Finep, aportem recursos específicos para a física em volume satisfatório.

• Recomendação 2: recursos para a física

Considerando um valor médio por doutor de US$40 mil/ano, que ainda é baixo pelos padrões dos países desenvolvidos, recomenda-se que seja alocado à física nos próximos anos, pelo CNPq e pela Finep, o mínimo de US$54 milhões por ano.

Forma de distribuição de recursos para a pesquisa

Quando dispunha de recursos adequados, a forma de distribuição adotada pelo CNPq no apoio a projetos individuais ou de pequenas equipes, submetidos de acordo com certo calendário, era considerada perfeitamente satisfatória. Por outro lado, no caso da Finep, a concessão de vultosos financiamentos institucionais, eficaz na década de 70, quando a infra-estrutura básica estava em construção, tornou-se inadequada nos últimos anos. Os projetos institucionais são, em geral, constituídos de um somatório de subprojetos, cujos resultados são difíceis de avaliar. Além disso, o fato de as instituições apresentarem seus pleitos em diferentes épocas torna impossível a análise comparativa. A "desarrumação" provocada pela crise dos últimos anos deve ser aproveitada para mudar a sistemática de financiamento da Finep.

• Recomendação 3: operação do FNDCT/Finep

A Finep deve estabelecer um calendário para aceitação, julgamento e aprovação de pedidos por área do conhecimento, financiando projetos através de programas. Alguns programas, na área da física, sugeridos tanto para a Finep quanto para o CNPq, são:

• Programa de infra-estrutura básica para pesquisa;

• Programa de física nuclear e partículas;

• Programa de física atômica, molecular, óptica e matéria condensada;

• Programa de plasmas;

• Programa de áreas interdisciplinares e aplicações;

• Programa de ensino básico e divulgação da física.

Proposição de programas para a área da física

Programa de infra-estrutura básica para pesquisa

As bibliotecas, os computadores e as oficinas básicas constituem parte essencial da infra-estrutura de todas as instituições que desenvolvem pesquisa. Nos últimos anos, todas as instituições, com exceção taslvez de algumas do estado de São Paulo, interromperam assinaturas de revistas e não conseguiram adquirir livros novos necessários. Várias tentativas de assegurar recursos contínuos do MEC para bibliotecas das universidades federais têm falhado. É essen-

cial que as agências do MCT estabeleçam um programa de longo prazo destinado a manter atualizados os acervos das bibliotecas. Considerando o porte das instituições, seguindo a sistemática do CA de física do CNPq, seria interessante agrupar as bibliotecas em três categorias: grandes, médias e pequenas.Com base no número de doutores nas diferentes instituições, propõe-se que o programa contemple: 11 bibliotecas grandes com US$100 mil/ano; 11 médias com US$60 mil/ano; 12 pequenas com US$30 mil/ano.

O número acima corresponde a US$2,120 milhões por ano para bibliotecas, ou US$10,600 milhões por um período de cinco anos.

No caso de computadores, que se tornaram ferramentas indispensáveis para simulação e computação científica em todas as subáreas da física, há o exemplo da iniciativa bem-sucedida do CNPq em 1991, adquirindo um conjunto de estações de trabalho para equipar os grupos de pesquisa do país. É importante conferir a um programa como este um caráter permanente, de modo a assegurar a atualização dos equipamentos dos grupos que demonstrem maior competência e vocação em computação científica.

Agrupando-se os investimentos em bibliotecas, oficinas e em computação científica, propõe-se que o programa de infra-estrutura contemple, em cinco anos, o montante de US$20 milhões.

Programa de física nuclear e partículas

A construção de aceleradores de partículas para pesquisa de fronteira em altas energias é extremamente complexa e dispendiosa, e não deve ser cogitada no Brasil nos próximos anos. A pesquisa nessa área deverá continuar sendo primordialmente teórica, embora seja importante aumentar a capacitação do país nas atividades experimentais envolvendo aceleradores, através de intensa colaboração internacional com grandes laboratórios, como Cern e Fermilab, visando ao treinamento de técnicos, estudantes e pesquisadores. Paralelamente, é preciso equipar os principais grupos de pesquisa na área com recursos computacionais modernos, distribuídos tanto para cálculos teóricos quanto para aquisição de dados dos laboratórios internacionais. Finalmente, é importante manter o apoio para a operação e a contínua melhoria dos aceleradores de baixa energia já existentes, através de projetos que estimulem a interação com a indústria brasileira.

Na área da física nuclear, é importante apoiar os projetos de expansão das máquinas mais importantes, os aceleradores Pelletron e Microtron da USP, para os quais estão previstos recursos federais, estaduais e de empréstimos do BID. Também nesta área deve haver uma política nacional de apoio a projetos brasileiros envolvendo a utilização de instalações experimentais no exterior.

Os recursos totais previstos para a física nuclear e de partículas, nos próximos cinco anos, são de US$57 milhões. Considerando que a pesquisa experimental nesta área é fortemente concentrada em São Paulo, espera-se que metade deste valor seja coberto pela Fapesp e pela USP.

O valor do orçamento proposto para o programa federal de física nuclear e partículas é US$28,5 milhões para os próximos cinco anos, dividido entre a CNPq e a Finep.

Programa de física atômica, molecular, óptica e matéria condensada

Enquanto as atividades de pesquisa experimental de fronteira em física nuclear e partículas envolvem necessariamente grandes máquinas e são feitas por equipes numerosas de físicos e engenheiros, a maior parte das pesquisas em física atômica, molecular e matéria condensada é feita por equipes pequenas, em laboratórios de pequeno ou médio portes. Esta é uma das razões pelas quais estas áreas, principalmente a de matéria condensada, difundiram-se pelo país. Outra razão é a importância tecnológica de vários temas nelas estudados, como as propriedades de materiais semicondutores, magnéticos, supercondutores, optoeletrônicos, cristais líquidos, cerâmicos etc.

Os grupos de pesquisa nessas áreas, que contam atualmente com cerca de 800 físicos doutores, estão capacitados a embarcar em projetos mais ambiciosos de preparação e investigação de materiais sofisticados. Para isto será necessário implantar laboratórios de médio porte, com equipamentos de custo entre US$100 mil e US$1 milhão, que são comuns nos laboratórios dos países desenvolvidos e raros no Brasil. Isto possibilitará a melhoria do nível da pesquisa básica e a formação de maior número de pesquisadores para universidades, centros de pesquisa e empresas, o que contribuirá de maneira decisiva para o domínio de técnicas e processos de grande importância tecnológica. Os grupos de pesquisa prevêem a necessidade de recursos da ordem de US$225 milhões para os próximos cinco anos, dos quais cerca de 30% provavelmente poderão ser providos pelas fundações estaduais de amparo à pesquisa.

O custo proposto para o programa federal para estas subáreas é US$157,5 milhões nos próximos cinco anos, para execução pelo CNPq, Finep e PADCT (subprograma de novos materiais).

Programa de plasmas

Um trabalho contínuo e competente tem sido desenvolvido, no Brasil, em física de plasmas, com ênfase na área de confinamento magnético de plasma para fusão. Os programas de pesquisa nesta área foram objeto de amplos debates, nos últimos 12 anos, na comunidade científica brasileira e internacional. Áreas correlatas, com aplicações tecnológicas de plasmas, sistemas de aquisição e análise de dados experimentais e controle, também vêm sendo desenvolvidas. Além dos projetos atuais em desenvolvimento, há, na área de fusão termonuclear controlada, dois projetos de novos tokamaks: o TBR-2, na USP, e o Proto-ETA, no Inpe.

Após projetar, construir e operar com sucesso o pequeno tokamak TBR-1, o grupo da USP está desenvolvendo o projeto de um novo tokamak, em colaboração com o Instituto de Física de Plasmas da Academia Chinesa de Ciências, o que permite ao grupo continuar participando das pesquisas internacionais (em colaboração com outros grupos nacionais e internacionais) e formar pessoal qualificado. A máquina escolhida, de porte médio, é versátil o suficiente para permitir um trabalho de pesquisa competitivo na época em que entrar em funcionamento. Além de ter interesse científico, este projeto capacitará os grupos de pesquisa na construção de sistemas de porte médio, com a participação de empresas nacionais de engenharia.

No Laboratório Associado de Plasma do Inpe está sendo desenvolvido, em colaboração com o Laboratório Nacional de Oak Ridge, o projeto do Proto-ETA, um tokomak de características diferentes do TBR-2. O objetivo principal é o de caracterizar o desempenho desse tipo de máquina e as propriedades do plasma ao atingir o equilíbrio, com correntes de plasma e temperatura relevantes.

Para custear a construção dessas duas máquinas e apoiar os outros grupos de plasma, serão necessários recursos da ordem de US$25 milhões nos próximos cinco anos. É razoável esperar que a Fapesp, a USP e o Inpe assumam 40% deste montante.

O programa federal de plasmas prevê, para os próximos cinco anos, a quantia de US$15 milhões.

Programa de áreas interdisciplinares e aplicações

A pesquisa experimental em áreas interdisciplinares como física biológica, física médica, ciência dos materiais e instrumentação, entre outras, é feita, em grande parte, em laboratórios pequenos ou de porte médio, semelhantes aos de matéria condensada. Entretanto, em alguns temas, há necessidade de se recorrer a equipamentos de maior porte.

No momento, há dois projetos em desenvolvimento no país, que envolvem equipamentos maiores que custam alguns milhões de dólares. São eles a fonte de luz síncrotron do LNLS, em Campinas, e a máquina de implantação iônica, do IF/UFRGS. O primeiro é um projeto de vulto, que está sendo desenvolvido de forma competente, que terá utilidade para pesquisa em diversas áreas, como física atômica, molecular e matéria condensada, física biológica, química etc. O investimento previsto para este projeto é de US$28 milhões para os próximos cinco anos. O segundo consiste na expansão do implantador iônico já existente no IF/UFRGS, cuja finalidade é preparar e estudar materiais diversos. O custo desta expansão é estimado em US$4 milhões. Além desses investimentos maiores, estas áreas necessitam de recursos para aquisição e operação de equipamentos menores. Sua estimativa é de US$10 milhões para cinco anos. O investimento total do qüinqüênio nessas áreas deverá ser, então, de US$64 milhões, dos quais US$27 milhões de fontes não-federais.

O programa federal de fomento às áreas interdisciplinares deve prever então, no mínimo, US$37 milhões para os próximos cinco anos.

Programa de ensino básico e divulgação da física

A melhoria do ensino de física, ou, mais genericamente, da educação científica nas escolas de primeiro e segundo graus, é essencial para o desenvolvimento futuro desta e de outras áreas da ciência, bem como da engenharia. Uma das maiores falhas do ensino atual é sua natureza excessivamente teórica, que decorre da falta de laboratórios nas escolas e do despreparo do professor secundário para ministrar aulas práticas. É de extrema importância que pesquisadores e docentes universitários sejam envolvidos em programas de treinamento de professores e de produção de material educacional para escolas e material para divulgação da física, de forma mais ampla na sociedade. O subprograma de educação científica (Spec) do PADCT apóia projetos nestas linhas, porém os recursos financeiros não são suficientes para produzir o impacto necessário.

É importante alocar recursos adicionais aos do PADCT-Spec para projetos de melhoria do ensino básico e divulgação da física. O valor proposto para os próximos cinco anos é US$10 milhões.

• Recomendação 4: recursos para os programas de física

Além de manter o apoio básico às instituições e conceder auxílios individuais para pesquisa, viagens e organização de reuniões, o MCT deve formular um plano qüinqüenal para financiamento da física pelo CNPq e pela Finep, através de programas. Dados exaustivos para detalhamento dos programas encontram-se nos três volumes do documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990). Sugere-se que o orçamento total dos programas para um período de cinco anos seja de US$268 milhões, ou US$53,6 milhões/ano em média, o que é compatível com a recomendação 2, distribuídos da seguinte forma:

Programas	Orçamento (US$ milhões)	%
Infra-estrutura básica	20,6	7,5
Física nuclear e partículas	28,5	10,6
Física atômica, molecular e matéria condensada	157,5	58,8
Plasma	15,0	5,6
Áreas interdisciplinares	37,0	13,8
Ensino básico e divulgação da física	10,0	3,7
Total (cinco anos)	268,0	100,0

Formação no país

O número atual de pesquisadores no país é muito reduzido para nossas pretensões na área do desenvolvimento tecnológico. A formação de mestres e doutores em física no país deve ser acelerada, principalmente nas áreas experimentais e com maiores possibilidades de aplicações. Propõe-se, como meta para a física, atingir o número de 3 mil doutores em torno do ano 2004. Para que esta meta seja alcançada, torna-se imprescindível que a taxa de formação de doutores no país aumente substancialmente, passando do valor atual de 100/ano para 150/ano, num período de cinco anos. Este aumento está dentro das possibilidades do atual sistema de pós-graduação em física no país, mas não depende apenas de um maior número de bolsas de pós-graduação, pois um dos fatores mais limitantes é o suprimento de estudantes qualificados. É preciso estimular mais a atividade de iniciação científica na graduação, atribuindo-lhe créditos acadêmicos e aumentando o número de bolsas. É importante também melhorar o valor das bolsas de mestrado e doutorado, e das bolsas de incentivo à pesquisa e de recém-doutores.

• Recomendação 5: bolsas de iniciação científica

O número de bolsas de iniciação científica do CNPq na área da física deve aumentar, passando de 650 para 1.300 a médio prazo, de modo a se alcançar uma razão bolsas de iniciação/bolsas de pesquisa de 2/1. Este aumento deve privilegiar as áreas experimentais e com maior potencial de aplicações.

• Recomendação 6: valor das bolsas no país

O valor das bolsas de mestrado e doutorado no país deve ser mantido em nível compatível com a situação profissional e de família dos bolsistas, devendo prover também o seguro de saúde, como as bolsas no exterior. Recomenda-se também ao CNPq e Capes a criação de um adicional para bolsistas com atividades docentes. A exemplo do que faz a UFMG, as próprias universidades deveriam criar bolsas de monitoria de pós-graduação com essa mesma finalidade, como forma de melhorar a remuneração dos estudantes de pós-graduação e aliviar a pressão para a contratação prematura de docentes.

• Recomendação 7: aumento do número de bolsas de pós-graduação

O número de bolsas de pós-graduação em física deve ser aumentado a uma taxa média de 10% ao ano, visando dobrar a população de estudantes de doutorado em sete anos.

• Recomendação 8: doutorado sem o pré-requisito do mestrado

Os bons estudantes devem ser estimulados a ingressar diretamente nos programas de doutorado em física, sem a necessidade de apresentar dissertação de mestrado. Uma forma de incentivo financeiro é o aumento da diferença entre os valores das bolsas de doutorado e de mestrado. Contudo, é necessário também que os próprios orientadores e coordenadores de cursos criem ambiente favorável ao encorajamento dos estudantes.

Doutoramento no exterior

Os programas de doutorado no exterior na área da física têm, atualmente, cerca de 130 estudantes brasileiros com bolsas do CNPq ou da Capes, formando por ano cerca de 25 doutores. Os programas no Brasil têm 700 estudantes e formaram, em 1991, cerca de 100 doutores. Mesmo formando quatro vezes mais doutores, o custo total dos estudantes no país é comparável com o do exterior, pois um estudante aqui custa em média cerca de US$20 mil, enquanto no exterior custa US$100 mil. Outra consideração negativa sobre os programas no exterior refere-se aos projetos de tese nos quais nossos estudantes são envolvidos. A definição do tema é de exclusiva responsabilidade do orientador no exterior, sem qualquer influência dos órgãos financiadores da bolsa ou das instituições para as quais o candidato poderá retornar no Brasil. A essas preocupações soma-se outra, mais recente: o crescente número de bolsistas no exterior que não retornam ao país após a obtenção do doutorado. Esta evasão decorre não apenas da crise que atravessamos, mas também da falta de acompanhamento individual dos bolsistas no exterior e de instrumentos mais eficazes de cobrança do retorno dos investimentos aos que não voltam ao país.

Não obstante esses problemas, os programas de bolsas no exterior são importantes para suprir as deficiências de certas subáreas e para trazer ao país os mais recentes avanços. Eles devem ser mantidos em sua dimensão atual, porém não podem deixar de ser alterados.

• Recomendação 9: doutorado no exterior

O número de bolsas de doutorado no exterior na área da física não deve ser reduzido. Recomenda-se, entretanto, que ele seja dividido entre dois programas, um de balcão e outro de indução. O programa de balcão deve ser extremamente competitivo, concedendo bolsas apenas para projetos em temas de fronteira que não ofereçam oportunidade de doutorado no país e para candidatos com aceitação nas melhores instituições do mundo. O programa de indução deve oferecer bolsas para certas áreas estratégicas, prioritariamente para trabalhos experimentais com técnicas mais avançadas e pouco difundidas no país.

Em ambos os programas, cada bolsista no exterior deve ter um tutor no país que acompanhará seu trabalho, através de contato oficial para delegação do CNPq/Capes, com o estudante e seu orientador. O tutor fará relatórios periódicos para o órgão que concede a bolsa e manterá o bolsista informado sobre as oportunidades de emprego no país. A atividade tutorial deve ser remunerada, ou talvez incluída entre as obrigações dos bolsistas de pesquisa do CNPq.

Para dificultar a evasão, CNPq e Capes devem criar instrumentos legais para a cobrança dos gastos com os bolsistas no caso destes não retornarem ao país.

• Recomendação 10: pós-doutorado e doutorado-*sanduíche*

O CNPq e a Capes devem incentivar ainda mais os programas de pós-doutorado no exterior para os candidatos que obtenham o doutorado no país, bem como os programas de doutorado no país com parte da tese realizada no exterior, o doutorado-*sanduíche*.

Fixação de pesquisadores no país

O programa de bolsas de pesquisa criado pelo CNPq na década de 70 tem-se constituído em importante mecanismo de incentivo à pesquisa, principalmente nas universidades federais. Ao contrário de outros incentivos salariais, a concessão da bolsa de pesquisa está sujeita a uma rigorosa avaliação técnico-científica do candidato, e sua renovação é condicionada à produção intelectual do bolsista. Apesar de suas características positivas, as bolsas de pesquisa freqüentemente sofrem ameaça de extinção ou têm seu valor reduzido a níveis ridiculamente baixos. É da maior importância para a pesquisa no país que este programa de bolsa seja estabilizado, ampliado e aperfeiçoado de modo a estimular a fixação de pesquisadores não apenas nas universidades, mas também nos institutos federais e estaduais de ciência e tecnologia.

• Recomendação 11: bolsas para pesquisadores

Os programas de bolsas de pesquisa de recém-doutor e desenvolvimento científico regional do CNPq devem ser ampliados e aperfeiçoados, de modo a estimular a fixação de pesquisadores não apenas nas universidades, mas também nos institutos federais e estaduais de pesquisa, dentro de um planejamento global preestabelecido. Essas bolsas devem ter contribuição máxima muito acima dos valores atuais, porém devem ser sujeitas a tetos rígidos, como era feito no passado. Desta forma, elas poderão servir de importante instrumento de incentivo à fixação de pesquisadores nos institutos estaduais que, em geral, proporcionam salários menores que as universidades e institutos federais, e não conseguem atrair pesquisadores.

Financiamento dos centros menores ou mais novos

Segundo os dados do CNPq, das verbas distribuídas pelo Comitê de Física para auxílios, a parcela que atinge os grupos dos novos centros é da ordem de 10-15% do total. Como esses grupos não têm verbas da Finep, os recursos de que eles dispõem para pesquisa são desprezíveis em comparação com os dos grupos dos centros maiores. É preciso que a comunidade científica e, principalmente, os órgãos do governo entendam que a consolidação da física no país só ocorrerá quando houver pesquisa de boa qualidade em um número muito maior de centros espalhados por todo país, do que o daqueles que são usualmente financiados pela Finep. E, para isso, é imprescindível destinar uma parcela maior de recursos do CNPq e da Finep para os novos grupos.

• Recomendação 12: apoio aos centros menores/novos

Os órgãos federais devem estabelecer uma política explícita de apoio aos grupos de pesquisa de bom nível nos centros menores ou mais novos, e de nucleação de novos grupos nesses centros, através de programas especiais e recursos adicionais para este fim. A nucleação de novos grupos pode ser feita por meio da concessão de auxílios substanciais e compromisso de apoio continuado, estimulando jovens físicos com capacidade de liderança a se fixarem nos novos centros, e criando projetos de parceria com pesquisadores mais experientes de centros mais desenvolvidos.

Diversificação de currículos e cursos interdisciplinares

Os atuais cursos de engenharia e bacharelado em física no país têm, em geral, uma estrutura rígida tradicional, que não está formando profissionais adequados para a indústria em certas áreas de tecnologia de ponta. Este é o caso das indústrias de óptica e optoeletrônica, de materiais especiais, supercondutores, cristais líquidos, vácuo e criogenia, entre outras. É da maior importância aumentar a ênfase na formação experimental nos cursos de física e engenharia, tanto na graduação quanto na pós-graduação, diversificar os currículos e criar cursos interdisciplinares, visando formar profissionais para estas áreas.

• Recomendação 13: diversificação de currículos e criação de novos cursos

Os cursos de física devem diversificar seus currículos, aumentar a formação experimental em óptica, materiais para eletrônica, vácuo e criogenia e incorporar opções que orientem estudantes para atividades fora da área acadêmica, inclusive com estágios em indústrias e centros de tecnologia. Juntamente com departamen-

tos de engenharia eletrônica e mecânica, deve-se estudar a criação de cursos interdisciplinares visando formar profissionais para novas áreas de trabalho, como engenharia óptica e engenharia de materiais voltados para eletrônica.

Institutos federais ou estaduais de tecnologia

Há no país mais de uma dezena de institutos federais ou estaduais de tecnologia, cujo objetivo primordial é realizar serviços de testes, análises e consultorias técnicas para o setor produtivo. A disseminação de atividades de pesquisa nesses institutos, com a participação de doutores em física, é essencial para a melhoria da qualidade de seus serviços e para capacitá-los a desenvolver ou ajudar a transferir tecnologia de universidades para empresas. Os órgãos federais devem apoiar agressivamente a fixação de pesquisadores nesses institutos, dando-lhes meios para montagem de laboratórios e nucleação de novos grupos.

• Recomendação 14: fixação de doutores nos institutos tecnológicos

O CNPq e a Finep devem estabelecer uma política explícita para fixação, nos institutos tecnológicos, de mestres e doutores em áreas da física com maior interface com a tecnologia, oferecendo-lhes bolsas especiais de pesquisa de maior valor que as normais, e assegurando recursos para a montagem de novos laboratórios e projetos de parceria com universidades. No caso dos institutos estaduais, isto só deve ser feito mediante o compromisso de as administrações estaduais proverem contrapartidas e assegurarem apoio adequado aos novos pesquisadores.

Criação de empresas de base tecnológica

Nos países desenvolvidos, os físicos e pesquisadores de outras áreas têm importante papel na criação de empresas de base tecnológica. Muitos produtos e processos são desenvolvidos a partir de resultados obtidos no meio acadêmico pelos pesquisadores, ou mesmo por estudantes, que os transferem para empresas já existentes ou criadas para produzi-los. Reconhecendo a importância deste mecanismo, os governos dos países desenvolvidos estabeleceram vários meios para facilitar, financiar e estimular a criação de pequenas empresas de alta tecnologia, como empréstimos de risco para desenvolvimento de produtos, parques tecnológicos, incubadeiras de empresas etc. Um dos exemplos mais recentes vem dos EUA, país conhecido pela pequena interferência do Estado no setor privado. Em 1992, a National Science Foundation criou um programa intitulado Small Business Innovation Research, destinado a financiar a fundo perdido projetos de pesquisa de empresas que possam resultar em produtos ou processos de alta tecnologia comercializáveis. No Brasil, há várias iniciativas no sentido de estimular a criação de empresas de base tecnológica, com alguns exemplos de sucesso que

tiveram grande participação de físicos, como é o caso do Parque Tecnológico de São Carlos. Por outro lado, o programa de empréstimo de risco que existia na Finep foi desativado nos últimos anos, em parte por conta dos casos de insucesso.

• Recomendação 15: estímulo à criação de empresas de base tecnológica

O governo federal deve criar, através dos órgãos do MCT, do BNDES e da Fundação Banco do Brasil, mecanismos explícitos de financiamento de incubadeiras de empresas, parques tecnológicos e empréstimos de risco, destinados a incentivar o desenvolvimento de produtos de potencial comercial e a criação de pequenas empresas, a partir dos resultados da pesquisa nas universidades e institutos de pesquisa.

Referências bibliográficas

Physics Survey Committee. *Physics through the 1990s: an overview.* Washington, National Academy Press, 1986. 167p.

Secretaria de Planejamento/CNPq. *Avaliação e perspectivas.* Brasília, 1978. p. 39-126.

———. *Avaliação e perspectivas.* Brasília, 1982. p. 125-205.

Sociedade Brasileira de Física. *A física no Brasil.* São Paulo, 1987. 298p.

———. *A física no Brasil na próxima década.* São Paulo, 1990. 3v.

Physiological sciences (fisiologia)

*Antonio C. Paiva**

1. Scope of this report

For the purposes of this report, the physiological sciences encompass the following disciplines: physiology, biochemistry, biophysics, pharmacology, parasitology, microbiology, immunology, and morphological sciences (anatomy, histology, and embryology), as well as cell biology, which pervades most of the other disciplines. Not included are the applications of physiological sciences in biotechnology, which are the subject of another report.

The survey of the state of the area in Brazil was made using the sources listed below.

• Annual reports and internal documents of the following granting agencies: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, National Council for Scientific and Technological Development); Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (Capes, Coordinating Agency for Advanced Training of High Level Personnel); Financiadora de Estudos e Projetos (Finep, Financing Agency for Studies and Projects); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp, São Paulo State Research Foundation).

• Documents produced by past analyses and evaluations, such as the last evaluation of the national system of science and technology made by CNPq (Seplan/CNPq, 1982) and the analysis of science and technology in the state of São Paulo made by Fapesp (1977), as well as the *third basic plan for the scientific and technological development*, issued by the federal government (Seplan, 1980), and documents of the Congress (Covas & Passoni, 1992).

• Institutional reports and published papers with evaluations of the scientific productivity and of the performance of the graduate study programs.

• Annals of the meetings of the scientific societies and interviews with individual investigators.

* Instituto de Biofísica, Escola Paulista de Medicina.

The following individuals were interviewed or provided information used in this report:

• Renato Bailão Cordeiro, president of the Brazilian Society of Pharmacology and Experimental Therapeutics;

• A. Hasson-Volloch, president of the Brazilian Biophysical Society;

• L. Juliano, president of the Brazilian Biochemical Society;

• Eduardo Katchburian, professor of histology of the Escola Paulista de Medicina;

• J. D. Lopes, president of the Brazilian Society of Immunology;

• Maria Marques, president of the Brazilian Physiological Society;

• Isac Roitman, president of the Brazilian Society of Protozoology;

• Wanderley de Souza, president of the Brazilian Society of Electronic Microscopy;

• Luís R. Trabulsi, president of the Brazilian Society of Microbiology.

Data obtained from the different sources were sometimes fragmented, contradictory or outdated. It is particularly notewhorty the lack of dependable indicators of scientific activity in agencies such as Capes and CNPq, which are constantly collecting the information but are apparently uncapable of processing and recording the large amount of data collected throughout the years. From the information provided by these agencies, some effort and common sense were necessary to arrive at plausible figures, which however cannot be considered exact and should be subjected to revision when more reliable and updated information are made available by these agencies responsible for the promotion of science and education in Brazil.

2. Where is research in physiological sciences performed in Brazil

Historically, Brazilian research in the physiological sciences began in a few medical schools and public health institutes of Rio de Janeiro and São Paulo. Public health institutes, such as the Instituto Oswaldo Cruz, in Rio, and the Instituto Butantã and Instituto Biológico, in São Paulo, were, in the past, prominent centers for biomedical research, including in the physiological sciences. However, because of their much greater dependence on political fluctuations, they lost

that position to the relatively more stable universities, which are responsible for the greater part of the scientific research being performed in the country today.

As for the private sector, it has played a very minor role in promoting research in the physiological sciences in Brazil, since the local pharmaceutical industry imports most of its products and processes, with very little research and development being conducted locally. This is also true of the state-owned biotechnology institutes which produce immunobiologicals and other health-related products.

One of the problems for the generation of a viable industrial research and development establishment has been the lack of interaction between academic investigators and the industries. This is due both to the lack of commitment of the latter to conduct research and development in this country, and to the resistance of the universities to this type of activity. A strict interpretation, by the universities, of full time dedication of their staff to teaching and research has hampered the use of their know-how outside the campus, as consultants and advisors to private companies. This attitude, however, appears to be reversing, and a promising trend in some universities is the installation of centers for research and development projects linking the academic expertise with the industrial sector. Notable examples of this trend, among others, are the University of Campinas Company for Technological Development (Codetec), the Federal University of Rio de Janeiro's Bio-Rio, and the technological annex to the Chemistry Institute of the University of São Paulo.

Another segment where research in physiological sciences should be increased is that of government public health institutes. These institutions have for a long time suffered from interference of spurious political influences and short-sighted policies that stifled their basic science departments. Fortunately, in recent years a clear trend to improve the scientific productivity has been evident in some of these institutes, such as the Fundação Instituto Oswaldo Cruz, in Rio de Janeiro, the Centro de Pesquisas René Rachou and the Fundação Ezequiel Dias, in Belo Horizonte, and the Instituto Butantã, in São Paulo. It is to be hoped that these institutions will have continuing success in their efforts to attain a more politically independent status, and to provide more attractive careers for their scientific staffs.

3. Funding

The main sources of support for basic scientific and technological development in Brazil are the federal agencies CNPq and Finep, of the Ministry of Science and Technology, and Capes, of the Ministry of Education. Several states also have agencies for science and technology support. However, only Fapesp, in the state of São Paulo, has played a major role in research funding. Another significant source of money for research is the Programa de Apoio à Ciência e Tecnologia (PADCT), with resources both from the World Bank and from the

Brazilian government. These resources are managed by Finep, CNPq and Capes.

Support given by these different sources to biological sciences in 1991 is shown in table 1. Although these numbers refer to all the biological sciences (including genetics, zoology, botany and ecology), figures related to physiological sciences may be approximated by considering that these sciences historically receive about 60% of the expenditures of the CNPq in the biological area.

Table 1
Support of biological sciences by different sources, 1991
(in US$ millions)

Source	Fellowships	Projects	Total	%
CNPq	23.89	8.86	32.75	34.3
Finep	-	12.96	12.96	13.6
Capes	12.54	-	12.54	13.1
PADCT	-	6.74	6.74	7.0
Fapesp	1.74	23.29	25.03	26.2
Other state foundations	0.32	5.25	5.57	5.8
Total	38.49 (40.3%)	57.10 (59.7%)	95.59	100

It is noteworthy that Fapesp, which grants funds only to institutions in São Paulo state, appears as the most important source of money for research projects, contributing with 41% of the total amount granted in 1991. This is due, in part, to a sharp decrease in the federal support for science since 1989, reaching alarming proportions in 1991 and 1992, when CNPq practically withdrew its support to new grants, limiting its expenditures to fellowships and to grants contracted in the previous year. Table 2 shows that, except for the increase in the amount of CNPq support for research grants in 1992, research funding for projects by that agency has been decreasing since 1987. As for Finep, a trend for increasing its annual support for research projects in the period 1987-89 was sharply reversed since 1990. Thus, both federal agencies were greatly affected by the economic and political crises in the late 80's and early 90's. Unless this negative trend in support for science is quickly reversed, irreparable damage may be suffered by

research groups and institutions that took many years to consolidate and reach a reasonably productive stage.

Table 2
Federal grants for research projects: 1987-1991

Year	CNPq		Finep	
	Nº of projects	Amount (10^6 US$)	Nº of projects	Amount[a] (10^6 US$)
1987	709	5.0	111	13.3
1988	640	4.1	117	16.4
1989	517	2.7	166	19.3
1990	731	12.5	113	10.2
1991	922	[b]	70	5.6

[a] Excluding funds from PADCT.
[b] Although acound US$20 million were granted to 922 projects in 1991, this money was not available that year nor in 1992, due to severe cuts in CNPq's budget execution.

It must also be pointed out that the low level of support to scientific research by federal agencies is undermined by the growing dispersion of available resources among numerous groups and individual researchers without rigid criteria regarding the quality and viability of projects. Another important shortcoming, which applies particularly to the CNPq, is the lack of adequate evaluation of the performance of the projects that receive support by the agency. These practices allow for the funding of numerous projects without merit, and the survival of groups that have presented mediocre or insignificant performances for years, at the expense of insufficient support for the most productive and highest performance research groups.

Those shortcomings do not apply to Fapesp, which, along years of serious and efficient administration, has developed an exemplary system of peer review and project evaluation that should be emulated by the federal agencies.

In the federal area, the resource fragmentation has been partially compensated by PADCT, which concentrates its resources in the most viable projects and productive groups, and is committed to play an important role in adequately supporting the most competent groups.

However, PADCT relies on funds from the federal government for all local expenditures of the projects, and this important part of the program is also marred by the lack of funding from the Brazilian government, which is not adequately complying with its obligations to the program.

The participation of the physiological sciences in PADCT is limited to areas included in one of the subprograms, namely biotechnology. In this program, emphasis is placed on supporting projects linking academic research in the universities to the development of products by the industry, but part of the resources is allocated to basic research. This has allowed for the survival of a few prominently productive groups which, in spite of the irregular supply of the funds for local expenditures (which, as already mentioned, depends on funds provided by the Brazilian government), have been favored by the possibility of purchasing abroad most needed equipment and supplies.

4. Work force

The number of active scientists in the physiological sciences may be appraised by some indicators available in the reports of the granting agencies and the respective scientific societies.

An indicator of people involved in any of the subareas is the number of ordinary (effective) members in the respective scientific societies. A list of these societies is given below, with the respective number of members (excluding student members and inactive members):

Subarea	Society	Number of members
Biophysics	Sociedade Brasileira de Biofísica	168
Biochemistry	Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular	513
Immunology	Sociedade Brasileira de Imunologia	300
Microbiology	Sociedade Brasileira de Microbiologia	468
	Sociedade Brasileira de Virologia	59
Morphology	Sociedade Brasileira de Anatomia	600
	Sociedade Brasileira de Microscopia Eletrônica	481
	Sociedade Brasileira de Biologia Celular	72
Parasitology	Sociedade Brasileira de Protozoologia	220
Pharmacology	Sociedade Brasileira de Farmacologia e Terapêutica Experimental	428
Physiology	Sociedade Brasileira de Fisiologia	540

These numbers refer to the ordinary members at the end of 1992, with a small degree of uncertainty because some societies do not have an accurate number of actual full paying members. It must also be pointed out that, frequently,

scientists belong to more than one society, leading to an overestimation of the total number of researchers belonging to all societies.

Among the 3,849 members of the above listed societies, who supposedly are engaged to a greater or lesser degree in one of the physiological sciences, the more qualified are the holders of doctor's degrees. Table 3 shows that, in 1992, about 50% of the members of the physiological societies (1,946) held PhD degrees. Here again, the division between the disciplines is, in some cases, artificial, but the numbers give an approximate idea of the relative weight of their contribution to research in the physiological sciences in Brazil.

Table 3
Indicators of the size of the physiological sciences scientific community, 1992

Discipline	Holders of doctor's degree	Carreer fellowships	
		Pesquisador I	Pesquisador II
Biochemistry	436	62	106
Biophysics	88	12	24
Physiology	329	35	81
Pharmacology	244	34	71
Morphology	210	25	36
Immunology	193	32	43
Parasitology	235	27	52
Microbiology	211	28	66
Total	1,946	255	479

Sources: CNPq, Capes, and the Brazilian Societies of Biochemistry, Biophysics, Physiology, Pharmacology and Experimental Therapeutics, Anatomy, Electromicrography, Immunology, Chagas Desease (Trypanosoma and Leishmania) and Protozoology (malaria and other protozoonoses).

Another indicator, which reflects the number of the more productive investigators, is the number of holders of CNPq's career fellowships ("bolsas de pesquisador"). These are scientists classified by a peer committee into the categories of "Pesquisador I" (senior or independent researchers), and "Pesquisador II" (holding at least a doctor's degree and publishing regularly in refereed journals). The degree of selectivity of these two categories is given by the fact that, of the total of 1,946 scientists holding doctor's degrees, 734 (38%) have Pesquisador I or Pesquisador II fellowships (table 3).

Besides the Pesquisador I and II fellowships, CNPq also awards "special fellowships" (postdoctoral, regional development fellowships, associate investigators, fellowships for retired individuals continuing research, visiting investigators and recent-doctors). These categories, however, contribute little to the total number of investigators supported by CNPq fellowships, amounting, in 1992, to only 56 (7.1%) out of a total of 790 career fellowships granted to the physiological sciences.

As for the departments which conduct research in physiological sciences, an estimate of the active groups may be obtained from the data available from Capes regarding the accredited graduate courses in that area. Because of the structure of scientific organization and funding in Brazil, most research in any discipline is conducted in university departments that host graduate courses accredited by the Federal Education Council (Conselho Federal de Educação). Only these departments are able to obtain fellowships for graduate students, which constitute the major part of the scientific labor force in this country (postdoctoral fellows are a negligible part of that labor force). Therefore, these departments conduct practically all research done at a competitive level, and also receive most of the research grants available at federal and state funding agencies. Table 4 shows the number of accredited graduate courses in the different disciplines, at the end of 1991.

Table 4
Number of students and degrees awarded in December 1991

Disciplines	Number of students		Degrees awarded	
	Master	Doctor	Master	Doctor
Biochemistry	351	273	93	37
Biophysics	126	157	18	17
Physiology	133	54	36	12
Pharmacology	196	73	40	6
Morphology	56	83	11	14
Immunology	105	73	10	6
Parasitology	95	46	20	8
Microbiology	173	139	53	33
Total	1,235	898	281	133

Source: Capes.

5. Regional distribution

Research in the physiological sciences, as is also the case in other scientific areas, is heavily concentrated in the states of São Paulo (chiefly in São Paulo, Campinas and Ribeirão Preto), Rio de Janeiro and Minas Gerais (respectively in the cities of Rio de Janeiro and Belo Horizonte), although in certain disciplines there are active groups in other states, such as in the cities Curitiba, Porto Alegre and Florianópolis in the South, Recife and Fortaleza in the North-East, and Brasília in the Central region.

Concentration is the main characteristic pervading the regional distribution of the Brazilian scientific community doing research in the physiological sciences, since 40 (73%) of the 55 accredited courses are held in institutions in the South-East, with the remaining 27% distributed through the other four regions.

The regional imbalance is even more evident in the fact that, of the 30 courses accredited to award the highest degree (doctorate), 27 (90%) are in the South-East and only 10% are in the other four regions. The grades given to the graduate courses by Capes also reflect the regional imbalance. Of the courses evaluated in 1991, 90% of those of the South-East were graded A or B, whereas only 60% of those of the remaining regions received A or B.

The distortions in the regional distribution of scientific research groups have been the subject of a long-standing discussion, and some actions to overcome this problem have been taken by CNPq, which has carried out a program of "regional scientific development" for many years. Within this program, special criteria were adopted for granting aid to scientific projects coming from less developed regions. Although an objective evaluation of the results of this program is not available, the continuing stagnation of the scientific productivity in the best physiological sciences departments in these regions suggest that other types of action should be taken to improve the conditions and the efficiency of efforts carried out by local groups to conduct scientific research.

For many years, the current policy pursued by CNPq and Capes was to give priority to fellowships for students from less developed areas in Brazil to pursue their graduate studies abroad. This has resulted in a large number of PhD holders now found in the staffs of physiological sciences departments of North-Eastern universities. Thus, for example, 71% of the doctor's degrees of the staff in the Department of Biochemistry of the Federal University of Ceará were obtained abroad, and so were 90% of those in the Department of Biochemistry of the University of Pernambuco. In contrast, the percentage of the staff that obtained their doctor's degrees abroad is only 5% in the two most productive departments of biochemistry in the country, namely those of the University of São Paulo, and of the Biology Institute of the Federal University of Rio de Janeiro. Apparently, scientific productivity in these departments is inversely proportional to the proportion of their staffs holding doctor's degrees from foreign universities.

Experience has shown that, after an average of four years of graduate training abroad, students from less developed areas have serious problems to adapt to the working conditions of their home universities, where they do not find a favorable environment for scientific research (De Meis & Longo, 1990). This is also true, to a lesser degree, for individuals that took their PhDs in higher ranking universities in the South-Eastern region of the country.

Better results are obtained when graduate students follow a program in which at least part of their thesis work and courses are done in their local universities, with supervisors and visiting professors from more established graduate courses in the South-Eastern universities. An interesting experiment is the establishment of official co-operative programs between universities of different regions to allow students of less developed areas to conduct part of their graduate training in their local universities. Examples of such programs are those involving the Departments of Psychobiology and of Biochemistry of the Escola Paulista de Medicina, in São Paulo, and the Departments of Physiology and of Biochemistry of the Federal University of Rio Grande do Norte. Such programs have given good results in setting up new research groups where none existed before However, they have also met some difficulties, and have shown that at least 10 years of intensive effort are needed for fostering groups with an autonomous scientific research program in less developed universities (Carlini, 1980; Moreira, 1991).

The most serious problem in the development of these new groups is the generation of scientific leadership, which is a long-term process. A strategy to circumvent this problem is importing scientific leadership from other universities. Highly successful examples of this strategy occurred in the Department of Biochemistry of the Federal University of Rio Grande do Sul and in the Department of Pharmacology of the University of Santa Catarina.

Another approach to generate qualified groups in less developed areas was carried out by the Laboratório de Imunopatologia Keijo Azami (Lika), in Recife, in which a massive investment from the Japan International Cooperation Agency (Jica) was used to create an institute where Japanese scientists worked with the local staff to set up modern equiped laboratories and research projects focusing on locally relevant problems. After a period in which the Japanese endeavored to create a self-sustained institute, Lika is now trying to proceed independently with its activities. An objective analysis of this interesting venture must await a few years of observation of its performance after becoming independent of the Japanese group.

6. Scientific productivity

Indicators of the amount of scientific productivity of the different disciplines in the physiological sciences, in Brazil, such as the ratio of 3.8 between the number of abstracts presented at annual meetings and the number of full papers pub-

lished in indexed journals, reflect the practice of fragmenting most research presented at the meetings so as to give each collaborator of the research the chance to present a poster.

When the total number of papers published in indexed journals published in Brazil and abroad (749) is divided by the number of holders of doctor's degrees (1,946, from table 3), an index of 0.4 paper per person per year is obtained.

Unfortunately, a qualitative analysis regarding scientific productivity in all the disciplines of the physiological sciences is not available. Only in biochemistry scientometric analyses have been effectively employed as an attempt to evaluate the qualitative performance of the area (see below).

7. Personnel training

Most of the qualified personnel which aggregates to the physiological sciences community each year comes from the accredited graduate courses. An idea of the annual output of this system is given by the number of students enrolled in these courses and the number of master's and doctor's degrees awarded in 1991. Table 4 shows that 281 new master's degrees were generated from a population of 1,235 registered students. This proportion of 23% is in line with the information provided by Capes that the average time to obtain a master's degree is about four years. For the doctor's degree, the output in 1991 was 133, out of a population of 898 students, indicating an average of more than six years for the awardingt of that degree.

Graduate studies abroad are responsible for a smaller part of the degrees obtained by Brazilian scientists. Nevertheless, this segment has been stimulated in recent years, with a commitment of the federal agencies (Capes and CNPq) to maintain about 5 thousand fellows abroad, at an annual cost of US$150 million. Theoretically, about 150 of these fellows should be getting back to Brazil with their degrees every year.

Table 5 shows that in the physiological sciences, in 1992, 28 students were working abroad for the MS and 92 for the PhD degree, with fellowships from CNPq and Capes The only other agency giving significant, although much smaller, support for graduate studies abroad is Fapesp, which, between 1987 and 1991, granted 10 fellowships in the area of biological sciences for that purpose.

In the physiological sciences, the number of MS students abroad has drastically fallen down in the recent years, as the CNPq's advisory committees in these areas tend to abolish this kind of fellowship, recognizing that much better returns are obtained by investing in more mature students for training abroad. In this regard, the avowed priority of the agencies is the postdoctoral training, followed by the PhD fellowships. Nevertheless, when the number of postdoctoral fellowships granted by federal (CNPq, Capes) and state (Fapesp) agencies is compared to the number of doctor's degrees granted by Brazilian universities in a two-year period (average time of a postdoctoral fellowship), only about 25% of research-

ers holding these degrees are going abroad for postdoctoral work. Furthermore, the number of foreign PhD fellowships granted by federal agencies (CNPq and Capes) still exceeds that of postdoctoral fellowships abroad. In contrast, Fapesp clearly favors postdoctoral fellowships over PhD studies: in the period 1987-91, 80 foreign postdoctoral fellowships were granted by Fapesp, as compared to 10 fellowships for PhD abroad, in the biological sciences.

Table 5

CNPq fellowships for postgraduate training abroad, 1992

Discipline	Level			
	Specialization	MS	PhD	Postdoctoral
Biochemistry	2	2	22	11
Biophysics	2	0	5	7
Physiology	1	0	15	19
Pharmacology	3	0	19	12
Morphology	3	3	6	4
Immunology	3	10	12	13
Parasitology	1	7	8	6
Microbiology	2	6	5	4
Total	17	28	92	76

Sources: CNPq and Capes. (The numbers represent the fellowships granted by the two instituti-ons in 1992.)

Mention should be made to the fact that an increasing number of fellowships granted by CNPq and Capes for graduate studies abroad, at PhD level, are "sandwich fellowships", in which the student is enrolled in a graduate course in a Brazilian university and pursues part of his thesis work overseas, working on a project which supposes a collaboration between his supervisor in Brazil and his host abroad. The "sandwich fellowship" program has the following advantages over the "full PhD" fellowships:

a) while studying abroad, the student maintains his ties with a Brazilian co-supervisor and fulfills part of his dissertation and course requirements in the Brazilian institution which will be responsible for awarding him his degree;

b) the requirement for a joint project between the Brazilian supervisor and a foreign colleague provides chances for international collaboration that may benefit the supervisor's research;

c) the student is kept abroad for a much shorter time than in a "full PhD" fellowship, with obvious economy of the scarce resources available.

A retrospective analysis of the scientific productivity (based on number of papers and impact of the journals) of age-matched groups of scientists that had obtained their PhDs abroad or in Brazil gave some interesting results (De Meis & Longo, 1990). The performance of scientists that obtained their degree in Brazil and never had formal training abroad was essentially the same as that of biochemists that had obtained their degrees in Brazil, and the publications produced in the course of their PhD work did not differ in number or impact. The authors conclude that, while postdoctoral training overseas is effective in improving the scientific productivity of Brazilian biochemists, no advantage is gained from sending them abroad to obtain their PhD. On the other hand, the average cost for a Brazilian student to obtain a PhD degree in biochemistry is about four times more expensive abroad than in Brazil.

When compared to developed countries, the scientific community in Brazil is very small, and the training of new personnel is well below the needs of the area. As an example, in 1985, there were 1.2 PhD and 3.0 MS degrees in the life sciences awarded per million inhabitants in Brazil (data from Capes), whereas in the USA there were 25 PhD and 40 MS degrees awarded per million inhabitants (National Science Foundation, 1987). Obviously, a vigorous scientific community in the physiological sciences cannot be attained in Brazil without a substantial increase in the number of qualified scientists produced by the graduate courses. However, several factors allow for restraining the growth of the system, some of which are discussed below.

Shortage of thesis supervisors

The number of qualified thesis supervisors in the accredited courses in physiological sciences is estimated to be around 600. Taking into account the total number of students shown in table 1, this indicates that, on the average, each supervisor has 2.0 MS students and 1.5 PhD student under his supervision. This suggests that the system is working at nearly full capacity, since the ideal average number of graduate students per supervisor is generally thought to be three.

This problem is aggravated by the Brazilian civil service rules that allow for full pay early retirement of university professors. This has two adverse results: the system looses professors that are in their fifties, at the height of their scientific productivity, and a large proportion of the universities' payroll is devoted to payment of inactive personnel. Some universities have adopted the policy of allowing their most qualified retired professors to be hired again, as full or associate professors. However, although they do not hold the same positions they had previously from retiring, this practice may be viewed, even when judiciously applied, as an incentive for early retirement of qualified personnel, as well as a

means to allow for the re-hiring of less qualified people, who will block positions needed for attracting competent younger scientists to the system.

In an attempt to alleviate this problem Capes has established a program to delay the retirement of scientists who are old enough to retire, but whose contributions to their highly rated graduate courses are considered important. In this program, significant fellowships are provided as long as the scientist does not retire and remains productive. Here, again, there is a danger of abuses, resulting in the occupancy, by scientists no longer productive, of positions that should be available to the new generation of scientists. An alternative that does not have this drawback is the "retired investigator" fellowship program that has been effective for several years in CNPq. This program allows for retired scientists still active and productive to continue their research and to contribute to the training of new scientists. These fellowships appear to be a better way of using the work of senior scientists, and should be made more attractive, by matching their values to those of the Capes program and by including some insurance of continuity of the support (with protection against inflation) as long as the performance of the awardee justifies it.

Shortage of experienced thesis supervisors is a difficult problem to overcome because the breeding of mature and competent scientists should include at least two years of postdoctoral work (preferably abroad), which means at least eight years of postgraduate training. A possible strategy to overcome this problem would be to import qualified scientists.

De Meis and Longo (1990) have estimated that bringing from abroad and maintaining a scientist with qualifications at least as good as those of the best thesis supervisors now available in this country would cost about the same as sending two graduate students overseas to get a PhD degree. According to these authors, with the amount spent by Capes and CNPq to sponsor 5,500 graduate students abroad (in all areas of knowledge) it would be possible to import 2,250 senior scientists. A major problem is to recruit scientists at the peak of their academic careers to settle in an underdeveloped country. However, this might be circumvented by selecting senior scientists approaching retirement, or seeking qualified personnel in countries with other problems, such as those of Eastern Europe. These possibilities are often discussed by granting agencies, but no serious effort has been made to bring a significant number of foreign scientists and to give them satisfactory conditions for carrying out research in their new environments.

Low efficiency of the graduate courses

The long time taken to train a graduate student is detrimental to the efficiency of the system: it takes about four years to produce an MS, and six to generate a PhD. This is due to several reasons, ranging from defficiencies in undergraduate training of many of the students (leading to longer periods of adaptation to the work at the graduate level), to the excessive emphasis in formal courses in

some graduate programs (delaying the initiation of thesis projects), and to delays in research work due to erratic support of the investigators by the granting agencies.

One short-term measure to decrease the time for producing a PhD is the elimination of the master's degree as a prerequisite for studies at the PhD level, which has become usual in some graduate programs. This prerequisite no longer applies, in some of the courses, for students that show a PhD potential. It is hoped that others will adopt a similar attitude, and regard the MS no longer as a necessary step for getting a PhD, but rather as a terminal degree for those students that do not qualify for a PhD.

However, the problem of lack of adequate undergraduate preparation of a good number of the students is not amenable to short-term relief, and will continue to impose the use, for correction of previous defficiencies, of some of the time that should be dedicated to graduate level work.

Shortage of good candidates for graduate studies

The supply of good candidates for the graduate courses is hindered by the lack of career incentives, since prospects for a job after finishing a graduate course is mostly limited to an academic career in the university, which offers few positions with low salaries. As a consequence, some of the brightest students are channeled to activities which are financially more attractive.

Incentives for research and development programs in the private sector, as mentioned above, would help to improve the career prospects and attract more qualified students to the graduate courses.

A program that has been successful for many years is the awarding of scientific initiation ("iniciação científica") fellowships, which allow early recruitment of undergraduate students for part-time participation in scientific research. This allows for the identification of individuals with scientific vocation that may be attracted to a scientific career, which would not otherwise occur. Furthermore, these students are far better prepared for entering graduate courses, and usually take a much shorter time to get their PhD degree. Thanks to its merits, the scientific initiation program held by CNPq has been strengthened in recent years, and it is hoped that this policy will continue.

8. Career opportunities

Despite the widespread *need* for qualified personnel in the physiological sciences in Brazilian universities, the *demand* for the new masters and doctors is discouraging, since the Brazilian civil service rules, particularly in the federal system (*regime jurídico único*), make it almost impossible to replace non-productive personnel with new people. Therefore, personnel turnover is very slow, and

the bringing up of new teaching and research posts is insufficient to stimmulate a substantial growth in the number of active scientists in our universities.

It is to be expecected that the *regime jurídico único* will be replaced by a special regime for the universities, allowing a more flexible policy in hiring new scientific personnel and replacing non-productive individuals.

One of the mechanisms to absorb newly-graduated doctors, while waiting for admission to a more permanent position, is the postdoctoral fellowship, which, in some countries, is an important source of manpower for scientific research. In Brazil, however, only a very small number of these fellowships are awarded. This is not due to shortage of such fellowships, which are easily available from federal and state granting agencies, but to a very small demand by the candidates.

Nevertheless, in spite of the reduced amount of posts available for new doctors, there is no significant unemployment because the small output of graduate courses is mostly absorbed by the academic system. Furthermore, postdoctoral fellowships for studies abroad are given high priority by granting agencies, and such fellowships are frequently awarded to the best graduates who are usually given positions in the universities' staff shortly after getting back to Brazil. As a result, postdoctoral fellows play a very minor role in leading the bulk of the research carried out by the most productive groups, which relies mostly on the work of graduate students.

Thus, though highly recommended from a training viewpoint, the policy of sending academic professionals abroad for postdoctoral work eventually deprives Brazilian laboratories from a better trained segment of researchers which, in other countries, is responsible for highly important contributions to the scientific productivity of the most active groups.

9. State of scientific research in the different disciplines

Biochemistry and molecular biology

Among the physiological sciences, biochemistry is the most active in Brazil, as far as number and productivity of scientists are concerned, and is also the discipline for which more performance indicators are available. In particular, a bibliometric analysis of the scientific production from the 19 most active groups (comprising 80-90% of Brazilian active biochemists) during the period 1970-85 (Meneghini & Fonseca, 1990; Meneghini, 1992) is an attempt to quantify research effort in this area. During that period, the 487 researchers published about 3 thousand papers in international journals (an average of 0.45 paper per year per person). These papers generated about 17 thousand citations in the period from 1983 to 1987, i.e., 5.7 citations per paper. These numbers do not lag behind those seen in first world countries, but the authors emphasize the hetero-

geneity of their sample, with important differences in productivity between groups and individuals, and a strong concentration of the most productive groups in the state of São Paulo and the city of Rio de Janeiro.

In spite of the very small size of the biochemical community in Brazil, with about one active biochemist for 300 thousand inhabitants, and although its productivity is still low when compared to more advanced countries, it has reached a certain level of maturity, and the ever increasing influence of molecular biology has brought added vigor to research in this area. A weak point is still the lack of more expensive equipment, such as mass spectrometers, NMR spectrometers and X-ray crystallography equipment (see below).

Biophysics

All federal universities in Brazil have departments of biophysics. However, serious research in this discipline is carried out in just a few of them, with emphasis on the Instituto de Biofísica Carlos Chagas of the Federal University of Rio de Janeiro. Due to its interdisciplinary nature, research in biophysics is pursued also in many departments of biochemistry and physiology, and it is hard to distinguish between these specialties when estimating their scientific productivity. In fact, most of the scientists surveyed for evaluating scientific productivity of biochemists belonged to the two most productive departments of biophysics in the country.

The main problem faced in this area is the lack of modern instrumentation, due to the high cost of equipment for physico-chemical and structural studies, such as those involving nuclear magnetic resonance, X-ray difractometry, and mass spectrometry. High costs involved in acquiring and maintaining such equipment recommend a coordinated effort to be sponsored by federal and state scientific research agencies to build up national centers where more expensive equipment could be shared by scientists from different institutions. These centers are expected both to service facilities and to congregate groups of specialists working in projects involving intensive use of the equipment.

One such laboratory should be a mass spectrometry facility dedicated to biochemical and biophysical problems. There are several mass spectrometers located in many institutions in Brazil, but none of them is adapted and accessible for use by biologists. Therefore, a national laboratory for mass spectrometry should be settled, based in a pre-existing protein chemistry group which should be supported with equipment, personnel training and maintenance.

Another facility needed in a national center would be a nuclear magnetic resonance laboratory, where at least one large machine (for instance, 500 MHz) would be dedicated to biochemical and biophysical research.

A facility for X-ray crystallography should also be sponsored by a joint effort of the few laboratories where biological problems are studied relying on that technique. It is recommended that a station for protein crystallography be

included in the synchrotron which is now being settled by the National Laboratory for Synchrotron Light Project.

Physiology

Among the physiological sciences, physiology has the longest tradition of scientific research in Brazil, since the first physiological school came out of a laboratory set up in Rio de Janeiro in the 20's by Álvaro and Miguel Osório de Almeida. Disciples of these two pioneers irradiated to medical schools and other institutions in Rio de Janeiro and São Paulo, where they were later joined by the first Brazilian physiologists trained in the United States and Europe. The discipline grew slowly until the late 40's when the full-time regimen was created, first in the Faculty of Medicine of São Paulo, and later in the federal universities. In the 60's and 70's, with the creation and development of formal graduate courses and their strong support by federal agencies, the discipline grew at a faster pace. In the last decade, however, the area stagnated, which is evidenced by the slow growth in the scientific productivity of the most prominent departments, where a very productive generation of scientists trained in classical physiology has been slowly replaced by a new generation trained in more modern methods and concepts. It is desirable that a greater number of young physiologists get their postdoctoral training abroad in laboratories which will allow them to become familiar with new techniques and concepts of cell biology and molecular biology.

Pharmacology

As an offspring of physiology, pharmacology was set up in different institutions by researchers that came from the main physiological groups in the country, and since the 40's have been responsible for a growing scientific production in the area. However, in the last decade, pharmacology, as well as physiology, has been prone to a certain stagnation, which may also be attributed to a lack of renovation of the scientific leadership. Retiring researchers are not adequately replaced by a new generation of pharmacologists trained in the more modern methodologies, and the future of the discipline in Brazil depends on more intensive training of postdoctoral fellows in these methodologies.

Parasitology

The most productive research groups in parasitology are usually those involved with the study of *Trypanosomas* and *Leishmanias*. About 400 papers are presented in annual meetings on Chagas disease, representing the top research on the subject in the world. Conversely, the annual meetings of the Brazilian Society of Protozoology (which are held together with those on Chagas disease) have a much smaller number of contributions (59 in 1992). Themes as relevant as

malaria and amoebiasis are hardly the subject of good level research by basic parasitology groups.

The impressive development of *Tripanosoma* research in the last 20 years was, to a large extent, due to a special program (*projeto integrado*) funded by CNPq, which was responsible for coordinating efforts of different groups working in Chagas disease and for attracting new researchers to the area, with remarkable success.

Such "integrated projects" have been discontinued by CNPq, but the success of the Chagas disease group suggests that new programs on similar lines should be carried out for other areas such as malaria.

Microbiology

The evolution of microbiology in Brazil has teken place mostly in medical schools, where applied microbiology has been emphasized in detriment of other important topics of basic microbiology, such as the physiology and genetics of microorganisms. Traditional methodology still prevails in the area, in contrast to multidisciplinary approaches making use of the modern techniques of cell biology and molecular biology. As a result, scientific production is relatively low, when compared with most of the other physiological sciences. In particular, important specialties, like virology and food microbiology and toxicology, are neglected, and should be the object of concerted efforts, such as the promotion of special programs, which have been successful in improving the productivity of other areas (the protozoa research, for example, was greatly favored by the "integrated project" for the study of Chagas disease).

Immunology

Among the physiological sciences, immunology is one of the disciplines which has experienced the greatest progress at the international level in the last decade, with a great impact on the development of biotechnology. In Brazil, immunology has also been attracting growing interest, although the number of active groups of immunologists is still small. Among the 39 Brazilian universities, only 19 (48%) hold undergraduate programs in immunology, while among the 71 medical schools only 22 (31%) have courses in immunology. There are relatively few lines of research being pursued in a small number of groups, and there is little interaction and collaboration between these groups and with researchers in other disciplines, such as biochemists, pharmacologists, geneticists, and epidemiologists. These setbacks will only be overcome with an increase in the number of researchers in the area, depending mainly on an active support of personnel training by graduate courses in the more developed institutions in Brazil, which should be strengthened by bringing foreign visiting professors and by increasing postdoctoral training abroad.

Morphology

This area, which includes anatomy, histology, embryology and cell biology, has been traditionally dominated by the anatomists and histologists, who have played an important role in the teaching of medical students. There are about 2,500 scientists in the morphological sciences, distributed by around 80 medical schools and 90 universities and isolated institutions involved in undergraduate teaching in biological and health related areas. However, only a small part of this population works in academic research, namely that linked to accredited graduate courses. In 1991, it amounted to 130 docents holding doctor's degrees and had published 86 papers in international journals (0.66 paper/docent a year).

Progress in the scientific productivity of this area has been hampered by the contrast between the need to teach classical anatomy and histology to medical and biological students and the modern developments in cell biology. Most researchers in this area have been slow to adopt new concepts and methodologies to their research, resulting in a poor performance reflected in the low grades assigned by Capes' peer review committees to graduate courses in this area, including those of universities which rate best in other areas.

There is a coordinated program to improve the working conditions in this area — the Programa Setorial de Microscopia Eletrônica, sponsored by Finep — which gives support to several electronic microscopy laboratories. Similar coordinated efforts to introduce and support modern concepts and techniques in the morphological departments of Brazilian universities should be promoted.

10. Conclusions and recommendations

Availability of data on scientific performance

Data gathered for this report from different sources are sometimes fragmented, contradictory or outdated, and some effort and common sense were necessary to arrive at plausible figures which, however, cannot be considered exact and should be subjected to revision when more reliable and updated data are made available by the agencies responsible for fostering science and education in Brazil. These agencies (Capes, CNPq, and Finep), which have been collecting data about the scientific community in Brazil for years, should make an effort to recover these data for useful processing, and make them available as a basis for the evaluation of the performance of the different areas.

Interaction between basic science and technology

The industries depend very little on the universities for their know-how and do not hire a significant number of masters and doctors formed in graduate schools. This situation might be improved if changes are introduced in the industrial policy of the Government favoring investments by the private sector in science and technology leading to a significant research and development effort in Brazil.

Recent trends to improve scientific productivity in federal and state biotechnological institutes should also be continued, and these institutions should attain a more politically independent status and provide more attractive careers for their scientific staffs.

Funding

Total public investment of 0.7% of the GNP in science and technology might be appropriate if funds were adequately managed and if they were supplemented by significant contributions from the private sector.

The main federal agencies for science funding — Finep and CNPq — were severely affected by the recent economic and political crisis. Unless this negative trend is quickly reversed, research groups and institutions are bound to suffer irreparable damage.

PADCT may play an important role, after the recognition that basic science must also be supported, avoiding pulverization of available resources by concentrating its support in the most viable projects and productive groups. However, it is absolutely necessary that the Brazilian government meet its obligations to this program, since its contribution is essential to support the local expenditures of the projects.

As a result of a chronic lack of funds, or of an inneficient planning in the distribution of available funds, important investments in more expensive equipment have been neglected. Prominent investigators in the different disciplines should be consulted about bottlenecks in their areas due to lack of modern instrumentation, and cooperative projects should be encouraged to acquire high-cost equipment for common use. National centers should be supported, where more expensive equipment could be shared by scientists from different institutions. These centers should not restrict to function as service facilities, but rather gather groups of specialists working in projects involving intense use of the equipment. Important examples of these laboratories that are much needed for the progress of physiological science research would be a mass spectrometry facility, and a nuclear magnetic resonance laboratory dedicated to biochemical and biophysical research. A facility for X-ray crystallography should also be set up, and a station for protein crystallography be included in the synchrotron now built by the National Laboratory for Synchrotron Light Project.

"Integrated projects" funded by CNPq, highly successful in the case of the Chagas disease group, should be sorted out for other areas, such as malaria and the application of modern techniques in morphology, physiology and pharmacology.

Regional imbalances

Distortions in the regional distribution of scientific research groups are not ammenable to simple solutions tried in the past, such as CNPq's "regional scientific development" program, and other types of action should be taken to improve the conditions and the efficiency of efforts made by local groups to conduct scientific research. A growing cooperation between graduate courses of the less and more developed regions should be fostered, replacing the expensive policy of sending abroad students from less developed areas to get a PhD degree. It would be interesting to set up official cooperative programs between universities of different regions to allow students of less developed areas to have part of their graduate training in their local universities.

Personnel training

To improve the efficiency of graduate training in the physiological sciences, the shortage of qualified thesis supervisors should be compensated by an active policy of hiring scientists abroad, and by intensifying "sandwich fellowship" programs sponsored by Capes and CNPq, which prove to be a better alternative than supporting "full PhD" fellowships abroad.

Career opportunities

In spite of the small number of posts available for new doctors, there is no significant unemployment in the area as a result of small output of graduate courses. Together with efforts to increase this output, postdoctoral fellowships should be fostered as a mechanism for temporarily absorbing newly graduated doctors into active research groups.

References

Carlini, E. A. Uma experiência de pós-graduação. *Ciência e Cultura, 32*:315-322,1980.

Covas, M. & Passoni, I. (relatores). *CPMI: causas* e *dimensões do atraso tecnológico*. Brasília, Congresso Nacional, 1992.

De Meis, L. & Longo, P. H. The training of Brazilian biochemists in Brazil and in developed countries: costs and benefits. *Biochemical Education, 18*:182-8, 1990.

Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). *Ciência e tecnologia no Estado de São Paulo*. São Paulo, Aciesp, 1977.

Fonseca, L. The impact of Brazilian publications in biochemistry and molecular biology. *Ciência e Cultura, 44*: 172-7, 1992.

Goldemberg, J. Incentivos à pesquisa tecnológica. *O Estado de S. Paulo*. São Paulo, 18-5-1993, p. 2.

Meneghini, R. Brazilian production in biochemistry. The question of international versus domestic publication. *Scientrometrics, 23*:21-30, 1992.

——— & Fonseca, L. Índices alternativos de avaliação da produção científica em bioquímica no Brasil. *Ciência e Cultura, 42*:629-45, 1990.

Moreira, L. F. S. Uma experiência de pós-graduação: o convênio UFRN-EPM. In: *Simpósio Pós-graduação no Brasil*. Caxambu, 1991. (Reunião Anual da Federação das Sociedades de Biologia Experimental, Fesbe.)

National Science Foundation. *National patterns of science and technology resources: survey of science resources series*. Washington, NSF, 1987. p. 127-32.

Seplan. *III Plano básico de desenvolvimento científico e tecnológico*. Brasília, CNPq, 1980.

——— & CNPq. *Avaliação e perspectivas*. Brasília, CNPq, 1982. v. 1, p. 53-114.

Geociências

*Umberto G. Cordani**

1. Introdução

Este trabalho visa apresentar uma avaliação qualitativa da área de geociências no Brasil a partir de nossa experiência, nas duas últimas décadas, como assessor de vários órgãos de fomento à pesquisa, entre eles o CNPq, a Capes, a Finep e a Fapesp. O estudo se baseia em dados de avaliação setorial levantados pelos comitês assessores do CNPq para as áreas de geofísica e meteorologia, geologia e oceanografia, aos quais foram acrescentados outros dados quantitativos obtidos junto ao próprio CNPq, à Divisão de Acompanhamento e Avaliação da Capes e à Coordenadoria de Geociências da Fapesp.

Foram também utilizados a série *Avaliação e Perspectivas*, elaborada nos anos 80 pelos comitês assessores do CNPq, e documentos análogos existentes na Fapesp e na Secretaria de Administração Geral do MEC, além de nossa experiência na coordenação dos trabalhos do Seminário Geologia, o Profissional e a Ciência, realizado pela Sociedade Brasileira de Geologia e apresentado no XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, em São Paulo, em dezembro de 1993.

Os dados essenciais para a avaliação qualitativa da área se compõem da relação das principais instituições existentes, seus recursos humanos, a formação de profissionais e de mestres e doutores, além de informações sobre a capacidade instalada de pesquisa e a produtividade científica.

Este estudo pretende, ainda, fornecer um esboço sobre a evolução futura da área em termos científicos e profissionais, além de conter recomendações específicas de médio e longo prazos que eventualmente possam servir de subsídio para o estabelecimento de políticas governamentais para o setor.

2. Características da área de geociências

A área de geociências cobre um espectro muito amplo de subáreas com características próprias e estado de evolução e amadurecimento diferentes, no plano nacional. O quadro indica a composição das geociências em geral, e sua divisão em cinco subáreas maiores, além de dezenas de especialidades.

---

* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Subdivisões das geociências

Subáreas	Especialidades
Ciências geológicas	Mineralogia, petrologia, geoquímica, paleontologia, sedimentologia, geologia estrutural, geologia física, estratigrafia, geoidrologia, geocronologia, geotectônica, geologia econômica, metalogênese, geologia regional etc.
Ciências atmosféricas	Meteorologia geral, climatologia, meteorologia física, meteorologia sinótica, agrometeorologia, micrometeorologia, meteorologia dinâmica, hidrometeorologia, química da atmosfera etc.
Ciências geofísicas	Sismologia, gravidade, fluxo térmico, geomagnetismo, paleomagnetismo, sensoriamento remoto, geofísica externa, geodésia física, geodésia espacial, geodinâmica, geofísica aplicada etc.
Geografia física	Geomorfologia, biogeografia, pedologia, análise ambiental, hidrologia, geografia regional etc.
Oceanografia física	Sistemas oceânicos, química do mar, sistemas costeiros, geologia marinha, interação ar/mar etc.

Nesta classificação, as ciências geológicas abrangem o estudo da composição, estrutura e evolução da Terra, através do exame de seus minerais, rochas e fósseis. As ciências atmosféricas tratam do estudo da atmosfera terrestre e dos processos físicos que nela ocorrem. As ciências geofísicas dedicam-se ao estudo das propriedades físicas da Terra e de seus processos físicos naturais. A geografia física ocupa-se da organização dos espaços e da estruturação dos ambientes da superfície da Terra. Finalmente, a oceanografia física abrange o estudo da natureza, estrutura e dinâmica dos oceanos e dos materiais da crosta oceânica subjacente.

No Brasil, a profissão de geólogo é regulamentada, sendo controlada pelo Confea e pelos Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e profissões afins. Os outros cursos formam bacharéis ou licenciados, com atuação profissional flexível e dependente da situação do mercado de trabalho.

Existe uma grande interação dos integrantes das diversas subáreas e especialidades, bem como destes com muitos outros segmentos da sociedade. A geografia e a oceanografia físicas, por exemplo, são campos de atividade que se integram em áreas maiores. A geografia física e a geografia humana complementam-se de modo coerente em um conjunto maior: geografia, que, cada vez mais, tem sido considerada como uma das ciências sociais. Por outro lado, a oceanografia física (que, nessa classificação, inclui os aspectos químicos e geológicos da oceanografia) integra-se com a chamada oceanografia biológica para o estudo mais completo do ambiente oceânico.

As ciências geológicas são consideradas, ao mesmo tempo, como ciências da natureza — em sua missão de contribuir para o conhecimento de nosso planeta, do espaço que o envolve e de sua dinâmica — e como ciências exatas, na medida em que utilizam a linguagem da matemática. Além disso, integram-se com as ciências físicas, químicas, matemáticas e com boa parte das ciências biológicas, no estudo e caracterização do ambiente em que vivemos, naquilo que, genericamente, se denominou de ecologia ou ciência ambiental. Em sua atuação profissional, os geocientistas mantêm vínculos estreitos com profissionais da área tecnológica, como engenheiros de minas, civis, agrônomos e metalúrgicos, ou da área administrativa e de planejamento, como economistas, arquitetos, administradores de empresas, além de políticos e legisladores envolvidos com políticas públicas.

A essência ambivalente de ciências naturais e exatas e seus campos de atuação caracterizam as ciências da Terra e seu objeto de estudo. Seus objetivos são:

• conhecer a natureza dos terrenos e dos processos meteorológicos, geológicos, oceanográficos e afins a elas relacionados;

• lidar com os aspectos práticos ligados à localização, avaliação e utilização adequada de recursos permanentes e não-renováveis.

No primeiro caso, incluem-se o solo, a água e o ar, cujo conhecimento e manejo são essenciais para a melhor utilização e controle do meio ambiente. O segundo abrange os bens minerais, com destaque para os combustíveis fósseis, petróleo, carvão e gás natural, que ainda constituem as fontes de energia mais importantes e tradicionais.

3. Breve histórico do desenvolvimento da pesquisa em geociências no Brasil

No Brasil, as atividades científicas na área de geociências se iniciaram praticamente no século XIX, através das numerosas expedições de cientistas e naturalistas europeus ou norte-americanos (Eschwege, Agassis, Hart etc.), cujos objetivos eram os de conhecer, observar, descrever e catalogar os materiais encontrados em suas viagens a lugares então remotos do território brasileiro. Durante e após essa fase pioneira, o governo imperial tomou algumas medidas importantes para oficializar as atividades geocientíficas, criando, de início, o Observatório Nacional (1827) e, posteriormente, a Comissão Geológica do Império (1885) e a Escola de Minas de Ouro Preto (1886). Embora as atividades geológicas então implantadas tivessem o caráter de ciência básica, com o tempo elas se deslocaram quase exclusivamente para a prospecção mineral, especialmente após a criação do Departamento Nacional da Produção Mineral, originá-

rio da Comissão Geológica do Império e de seu sucessor, o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil.

Com isso, a pesquisa geocientífica básica só veio a progredir nas universidades, com a criação de departamentos de Geologia, Mineralogia, Geografia e afins nas recém-criadas faculdades de filosofia, ciências e letras, a partir da década de 30, ou nas escolas de engenharia já existentes. Nos anos 50, o desenvolvimento da pesquisa geológica ganhou um grande impulso com a implantação, através da Campanha de Formação de Geólogos (Cage), de diversos cursos de graduação em geologia, distribuídos por todo o território brasileiro e que, em poucos anos, vieram a formar os profissionais necessários para atender à forte demanda já existente no setor mineral.

No caso específico da geofísica e da meteorologia, as atividades científicas só vieram a se firmar a partir da década de 60, com a implementação da política governamental de formação de recursos humanos na pós-graduação, implantando-se nas principais universidades do país cursos com ênfase em várias especialidades, de acordo com experiências preexistentes ou com as vocações regionais detectadas. Em conseqüência, formaram-se muitos mestres e doutores que atualmente produzem, dirigem e orientam as pesquisas geocientíficas em curso nas subáreas e especialidades existentes.

De um modo geral, as atividades mais clássicas das geociências, que se implataram mais cedo no Brasil, estão relativamente amadurecidas e consolidadas. É o caso da maioria das especialidades da geologia e da geografia física, cujo desenvolvimento já completou algumas décadas. As subáreas de geofísica e de meteorologia, de implantação mais recente, se ressentem do baixo número de pesquisadores titulados, ainda insuficiente para atender adequadamente às necessidades institucionais de pesquisa. No caso da meteorologia, a situação se agrava, visto que em 1990 foi extinta a Comissão Nacional de Meteorologia (Coname), órgão interministerial que vinha coordenando as atividades no plano nacional. Desta forma, as instituições regionais existentes, como o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Inpe, o Projeto Nordeste de Meteorologia e Climatologia, e outros, nos estados de São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, se ressentem da falta de integração e coordenação nacional, e o próprio Instituto Nacional de Meteorologia (Inemet), responsável pela coleta e disseminação de informações meteorológicas para o setor produtivo, encontra-se praticamente sem pessoal para o desempenho adequado de sua missão. Finalmente, o caso da oceanografia física é muito particular, pelo reduzido número de instituições existente, em função da necessidade de contar com meios flutuantes de grande porte. Embora tenha-se acelerado nos últimos anos, seu desenvolvimento ainda está bem aquém do da oceanografia biológica, que foi implantada mais cedo.

No plano profissional, a atuação de geocientistas e técnicos da área sempre dependeu das políticas governamentais para o setor mineral e energético e, portanto, orientadas para o desenvolvimento do Departamento Nacional da Produ-

ção Mineral (DNPM), órgão do Ministério das Minas e Energia, e instituições afins. O DNPM foi criado na década de 20, mas o setor só veio a se expandir no final dos anos 60, com o Plano Mestre Decenal para o setor mineral. Nesse período, foi criada a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), como companhia estatal encarregada de executar as diretrizes emanadas do próprio DNPM, que passou à condição de órgão de planejamento. Na década de 70, o desenvolvimento do setor mineral coincidiu com um estágio de evolução econômica em que, embora mantendo sua tradicional posição de exportador de matérias-primas minerais, o país buscava gradativamente aprimorar as condições para o seu aproveitamento industrial. Nesse cenário, cresceram os investimentos governamentais no setor, e se aprimorou bastante o conhecimento do solo e subsolo brasileiros, através dos levantamentos geológicos básicos realizados pela CPRM, dos trabalhos de prospecção da Comissão Nacional de Energia Nuclear e da Nuclebrás, dos trabalhos do Projeto RadamBrasil, do DNPM, dos trabalhos de sensoriamento remoto efetuados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), dos trabalhos geofísicos que faziam parte do convênio Brasil-Canadá, e de outros empreendimentos de grande porte. Também data desse período a criação de várias empresas estatais de mineração, como a CBPM, a Metago e a Metamig, e a instalação de diversas empresas de prospecção mineral, muitas delas subsidiárias de empresas estrangeiras ou multinacionais, atuando em áreas remotas do território brasileiro.

A partir da segunda metade dos anos 70 e durante toda a década de 80, em função das sucessivas crises do petróleo e de dificuldades crônicas que afetaram a economia nacional, reduziram-se os investimentos governamentais e privados em mineração no Brasil. Paralelamente, com o objetivo de preservar seu patrimônio em termos de instituições científicas e de recursos humanos já qualificados, o país, através de suas principais agências de apoio e de fomento à pesquisa do Ministério da Ciência e Tecnologia (Finep e CNPq), executou alguns programas bem-sucedidos de implantação, consolidação e manutenção de centros de pesquisa, com destaque para o Programa Nacional de Geociências (Pronag) e o Programa de Geociências e Tecnologia Mineral do PADCT, que prossegue até hoje, com recursos provenientes do Banco Mundial.

Atualmente — excluindo as atividades ligadas ao ensino superior e à pesquisa, em instituições essencialmente governamentais — o mercado de trabalho dos profissionais ligados às ciências da Terra abrange milhares de licenciados em geografia no ensino pré-universitário, poucos meteorologistas ligados a empresas trabalhando na previsão de tempo, alguns geofísicos que atuam em empresas de prestação de serviços e alguns milhares de geólogos que atuam no setor mineral, em grandes empresas estatais como a Petrobras ou a Vale do Rio Doce, ou em empresas privadas. Em decorrência da crise que afeta o setor mineral, o mercado de trabalho está saturado, com um índice de desemprego que varia de 15 a 20%.

4. Inventário institucional da área de geociências

Nas ciências da Terra, a pesquisa básica e aplicada normalmente é realizada pelas instituições de ensino superior com cursos específicos de graduação ou de pós-graduação, cuja relação consta das tabelas 1 e 2. Existe também um sem-número de departamentos menores, em diversas universidades do país, que atuam com poucos docentes, responsáveis pelo ensino básico de disciplinas geológicas para cursos de geografia, engenharia civil, biociências etc.

O setor de mineração ligado ao Ministério das Minas e Energia é o que mais emprega profissionais das geociências, através de seu Departamento Nacional da Produção Mineral, e das três maiores estatais do setor — a Petrobras, a Vale do Rio Doce e a CPRM — que, no total, absorvem cerca de 2 mil profissionais das geociências, principalmente geólogos. Estas três grandes empresas atuam na área da cartografia geológica, para o conhecimento básico do território brasileiro, e na área da prospecção de depósitos minerais e de petróleo. Em anos recentes, acompanhando uma tendência mundial, essas empresas vêm atuando na conservação ambiental, e a CPRM, em especial, tem desenvolvido programas específicos de geologia ambiental. Outras grandes instituições estatais, como o IBGE, a Cnen e a Embrapa, também atuam subsidiariamente na área. No plano estadual, o mesmo vem ocorrendo com a CBPM, a Metago, a Mineropar, a Metamig e outras companhias ligadas ao setor mineral. Merecem menção especial, pelas suas atividades continuadas no setor, instituições técnico-científicas como o Idesp, o Cetec, a Ceplac, o Inpa, a Cesp, a Cetesb e o IPT, de São Paulo.

A maioria dessas organizações desenvolve importantes atividades de pesquisa, voltadas para as finalidades específicas de cada uma delas. É o caso da Petrobras, que conta com um dos maiores complexos, no mundo, para pesquisa e desenvolvimento do setor petrolífero, o Cenpes, onde se concentram cerca de uma centena de pesquisadores em geologia, geofísica ou oceanografia, contando com modernos equipamentos e uma estrutura de apoio plenamente satisfatória. A Petrobras cuida da formação e da especialização de seu pessoal técnico de modo altamente eficiente, firmando convênios com diversas universidades brasileiras. Com isso, ela conseguiu firmar-se como uma das mais sérias empresas do setor petrolífero, tendo desenvolvido, nos últimos 20 anos, tecnologia de ponta no difícil contexto da exploração de petróleo em águas profundas, que utiliza presentemente em *joint ventures* internacionais, como no mar do Norte, em associação com companhias norueguesas.

Existem cerca de 6.500 a 7 mil geólogos em atividade no país, dos quais a maioria (entre 2.500 e 3 mil) atuando em mineração ou em levantamentos básicos para prospecção mineral junto ao sistema DNPM-CPRM, às empresas estaduais de mineração, ou ao setor privado. Pouco mais de mil geólogos atuam no setor de petróleo, quase todos no Departamento de Exploração (Depex) da Petrobras, e cerca de 100 no Cenpes. Aproximadamente 700 a 800 geólogos dedicam-

se ao setor de geologia de engenharia, em empresas estatais ou privadas, cerca de 700 ao ensino e pesquisa nas instituições de ensino superior do país, ao passo que por volta de 500 atuam em atividades ligadas à água subterrânea e ao meio ambiente, nas organizações estatais ou em empresas privadas. Por outro lado, em virtude da retração do mercado de trabalho, aproximadamente 10% dos profissionais da área estão desempregados.

Até o presente, os poucos geofísicos que concluíram o único curso de graduação que formou bacharéis — o da USP — ainda não têm uma atuação profissional própria e definida, e permanecem vinculados a atividades acadêmicas. Por sua vez, a Petrobras classifica como geofísicos cerca de 400 profissionais vinculados tanto ao Depex quanto ao Cenpes, com formação básica em geologia. Outros geólogos, físicos, ou engenheiros de diversos tipos atuam como geofísicos em empresas privadas, ao lado de alguns poucos profissionais estrangeiros.

No caso da meteorologia, o número de formados nos diversos cursos de graduação até o presente, estimado em algumas centenas, ainda é insuficiente para atender às necessidades da subárea. A maioria dos meteorologistas trabalha em instituições de pesquisa, como o Inpe, o IAG/USP e a UFPb ou em instituições e empresas estatais, como a Embrapa, o IBGE, a Cnen, o Cetec, a Cesp, a Cetesb e outras, que empregam um certo número de meteorologistas em atividades de aplicação direta. Muitos dos profissionais que atuam na área têm formação básica em outras áreas como física, matemática, engenharia e agronomia.

Quanto à oceanografia física, o baixo número de profissionais ativos se vincula a um pequeno número de instituições governamentais de pesquisa existentes no país, e a maioria dos projetos em andamento consiste de estudos de caracterização e de impacto ambiental em ecossistemas costeiros, em estreita colaboração com pesquisadores da oceanografia biológica. Entre os maiores obstáculos para a execução de pesquisas em oceanografia física estão a existência de apenas dois navios de grande porte (N/Oc. *Prof. W. Besnard*, do IO-USP, e o N/Oc. *Atlântico Sul*, da Furg), e as dificuldades em obter os recursos necessários para operações continuadas.

Finalmente, no caso da geografia, há muitos milhares de geógrafos formados no país (bacharelado e licenciatura) pelos 155 cursos superiores existentes, trabalhando principalmente na educação pré-universitária.* Em razão da importância crescente das questões ambientais na sociedade, muitos geógrafos têm-se voltado para atividades de planejamento rural e urbano, organização do espaço e análise ambiental, em organizações governamentais, de níveis local (prefeituras municipais), regional, estadual ou federal.

---

* Nota do editor: destes, no entanto, só uma pequena parte se dedica à geografia física propriamente dita.

Segue-se uma caracterização sucinta de algumas das maiores instituições de ensino superior e pesquisa do país. Na impossibilidade de efetuar um levantamento completo, serão apresentadas informações sobre as instituições do sistema paulista, relativas a corpo docente e aos principais equipamentos, e sobre alguns outros centros do país que atenderam prontamente ao nosso pedido de informações, para inclusão neste trabalho.

USP

A Universidade de São Paulo é o maior conjunto acadêmico do país, com várias unidades dedicadas a atividades ligadas às ciências da Terra: o Instituto de Geociências, o Instituto Astronômico e Geofísico, o Instituto Oceanográfico, o Departamento de Geografia da FFLCH, a Escola Politécnica, a Escola de Engenharia de São Carlos, a FFCL de Ribeirão Preto e a Esalq, de Piracicaba. O Instituto Oceanográfico opera bases em Ubatuba e Cananéia, além de um navio oceanográfico, e o IAG funciona em Valinhos. Todas as unidades da USP têm história e tradição próprias e atividades continuadas ao longo de, pelo menos, algumas décadas. Segue-se uma relação dos recursos humanos e das principais facilidades operacionais existentes no IG e no IAG.

Instituto de Geociências

• Número de docentes: 69, dos quais 55 com titulação de doutor.

• Equipamentos principais: microssonda eletrônica, difração de raios X, fluorescência de raios X, absorção atômica, espectrômetros de massa, microscópio eletrônico, sensoriamento remoto (Sitim), laboratórios diversos para análises químicas, microscopia óptica, sedimentologia, hidrogeologia etc.

Instituto Astronômico e Geofísico

• Número de docentes em meteorologia e geofísica: 30, dos quais 22 com titulação de doutor.

• Equipamentos principais: gravímetros, sismógrafos, difração de raios X, fluorescência de raios X, microscópio eletrônico, magnetômetros para paleomagnetismo, espectrômetro gama, perfilador, laboratórios diversos para análises químicas, modelos reduzidos, instrumentação etc.

Unesp

A Universidade Estadual Paulista se compõe de um conjunto de escolas e institutos sediados em diversas cidades do interior paulista, reunidos como universidade há cerca de 30 anos. As atividades principais da área de ciências da Terra concentram-se no IGCE de Rio Claro, mas foram criados núcleos menores em Rio Preto, Bauru, Jaboticabal e Presidente Prudente.

Instituto de Geociências e Ciências Exatas — Rio Claro

• Número de docentes: 46, dos quais 32 com titulação de doutor.

• Equipamentos principais: espectrofotômetros, difração de raios X, fluorescência de raios X, gravímetro, sismógrafos, perfilador, sensoriamento remoto (Sitim), laboratórios diversos para análises químicas, sedimentologia, microscopia óptica etc.

Unicamp

A Universidade de Campinas, criada em fins dos anos 60, reúne diversas unidades instaladas em Campinas e arredores. O núcleo principal de atividades na área de ciências da Terra é o Instituto de Geociências, embora existam também atividades subsidiárias nos Institutos de Química e de Biociências, e na Escola de Engenharia de Limeira.

Instituto de Geociências

• Número de docentes: 35, dos quais 24 com titulação de doutor.

• Equipamentos principais: fluorescência de raios X, laboratórios de computação e processamento de dados, geoquímica analítica, microscopia óptica, inclusões fluidas e outros.

Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

• Número de docentes: 82, dos quais 34 com titulação de doutor.

• Equipamentos principais: difração de raios X, fluorescência de raios X, espectrografia óptica, absorção atômica, espectrografia de massa, laboratórios

de geoquímica isotópica e geocronologia, microscopia óptica, inclusões fluidas, sismologia, paleomagnetismo, meteorologia, prospecção geofísica e outros.

Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

• Número de docentes: 32, dos quais 21 com titulação de doutor.

• Equipamentos principais: microssonda eletrônica, difração de raios X, sensoriamento remoto (Sitim e SIG), observatório sismológico, laboratórios de análises geoquímicas, microscopia óptica, inclusões fluidas e outros.

5. Cursos de graduação em ciências da Terra no Brasil

Segundo o censo educacional sobre ensino superior de 1991, do Ministério da Educação, existem, no Brasil, 18 cursos de geologia, seis de meteorologia, e dois de oceanologia, além de dois de geofísica, um deles iniciado em 1992. Por outro lado, o documento relaciona 155 cursos de geografia que, embora direcionados preferencialmente para a geografia humana, incluem programas de ensino em geografia física. Por sua vez, não cabe discutir neste trabalho cursos de graduação que abrangem importantes atividades geocientíficas, como é o caso dos cursos de engenharia de minas, engenharia cartográfica, agronomia etc.

Da tabela 1 constam os cursos de graduação existentes na área, localizados nas mais diversas regiões do país, com dados sobre os alunos matriculados no início de 1991 e os que se formaram em 1990. Fica claro que o tempo médio de residência dos alunos nos cursos é maior do que o ideal (cinco anos no caso dos cursos de geologia e quatro anos nos demais). Além disso, há uma grande evasão na maioria desses cursos, o que explica o reduzido número de formandos em relação aos matriculados (cerca de 10%). O problema reside, em grande parte, na saturação do mercado de trabalho dos geólogos e nas possibilidades restritas nos campos de atuação dos geocientistas em geral. O problema se agrava em algumas regiões, com um número muito baixo de formandos em geologia nos cursos de Manaus, Fortaleza, Natal e Recife. O número de formandos em Belém, Salvador e Rio de Janeiro também é menor do que a média, enquanto apenas nos cursos de São Paulo, Minas Gerais, Cuiabá e Brasília o número de formandos é superior a 10% dos alunos.

Tabela 1
Cursos de graduação em geociências

Área	Alunos (abr. 1991)	Concluintes (1990)
Geologia		
UFRN - Natal, RN	104	5
UFCe - Fortaleza, CE	153	7
Unifor - Fortaleza, CE	15	13
Unam - Manaus, AM	73	1
UFPa - Belém, PA	240	13
UFPe - Recife, PE	37	3
UFBA - Salvador, BA	224	18
UFMG - Belo Horizonte, MG, e		
Ufop - Ouro Preto, MG	326	38
UFRJ - Rio de Janeiro, RJ, e		
UFRRJ - Itaguaí, RJ	239	16
Uerj - Rio de Janeiro, RJ	99	11
UnB - Brasília, DF	150	20
USP - São Paulo, SP, e		
Unesp - Rio Claro, SP	371	52
UFMT - Cuiabá, MT	105	15
UFPr - Curitiba, PR	113	13
UFRS - Porto Alegre, RS	180	18
Unisinos - São Leopoldo, RS	183	12
Total	*2.592*	*257*
Meteorologia		
UFPa - Belém, PA	125	8
UFPb - Campina Grande, PB	120	3
Ufal - Maceió, Al	60	1
UFRJ - Rio de Janeiro, RJ	97	2
USP - São Paulo, SP	76	7
UFPEL - Capão do Leão, RS	104	6
Total	*582*	*27*
Oceanologia		
UFRJ - Rio de Janeiro, RJ	120	11
UFRGr - Rio Grande, RS	210	40
Total	*330*	*51*
Geofísica		
UFBA - Salvador, BA (início em 1992)	–	–
USP - São Paulo, SP	40	3
Total	*40*	*3*

Na meteorologia, o número de alunos que concluem os curso é extremamente baixo. Na oceanologia, a ênfase dos dois cursos existentes recai sobre a oceanografia biológica, ficando a oceanografia física em posição subordinada. O curso de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, ao que parece, consegue manter fluxo regular entre ingressantes e formandos.

Nos cursos de graduação em geografia, a geografia física vem sendo mantida pela sua vinculação obrigatória com a geografia humana no estudo das influências do ambiente que afetam o homem. Prossegue, também, a tendência das últimas décadas, de os geógrafos se voltarem para a dimensão sociológica, ou seja, geografia agrária, industrial, urbana, planejamento e, recentemente, análise ambiental. Os cursos de geografia existentes no país (155) formam anualmente mais de 4 mil geógrafos ou licenciados em geografia, a grande maioria dos quais se dirige para o ensino pré-universitário.

Essa situação, constatada em 1991, não se modificou significativamente, e os campos de atuação e o mercado profissional continuam retraídos. Formam-se, anualmente, além dos já mencionados 4 mil geógrafos voltados para o ensino primário ou secundário, cerca de 250 geólogos, por volta de 30 meteorologistas, e cerca de 50 oceanólogos, a maioria atuando no setor biológico da oceanografia.

6. Formação de recursos humanos nas geociências

A tabela 2 contém dados sobre os cursos de pós-graduação em geociências do país, em um total de 29 programas implantados nos últimos 25 anos em quase todas as principais instituições de ensino e pesquisa do país, segundo informações da Capes relativas ao biênio 1990/91.

A implantação dos cursos de pós-graduação, no fim da década de 60, foi uma conseqüência da reforma universitária, que instaurou as bases para a institucionalização de mecanismos de formação de recursos humanos e montagem de uma infra-estrutura de pós-graduação. As datas que constam da tabela 2 como o início dos programas de mestrado e doutorado são as da última reformulação efetuada em cada curso e que resultaram na sua estrutura atual. Por exemplo, os programas em geociências do IG-USP (recursos minerais e hidrogeologia, geoquímica e geotectônica, e geologia sedimentar) tiveram início em 1986, a partir de programas anteriores estabelecidos em 1970, precedidos, por sua vez, pelos doutorados em ciência que existiam há várias décadas na Universidade de São Paulo.

Tabela 2
Cursos de pós-graduação em geociências

IES	Curso	Início curso		Número docentes doutores em 1991		Alunos em 1991		Titulados em 1991	
		M	D			M	D	M	D
UFPa	C. geofísicas e geológicas	73	79	30	20	77	26	19	1
UFPb	Meteorologia	78		19	6	19		4	
UFPe	Geociências	73		17	14	22		7	
UFBA	Geologia	76		16	12	29		6	
	Geociências	70		25	18	42		7	
	Geofísica	69	72	9	9	32	13	5	2
UFRJ	Geologia	68	68	29	19	81	8	10	1
UFF	Geociências	72		20	17	34	4	10	
UFMG	Geologia	88		14	14	20		3	
Ufop	Geologia	84		11	4	11	6		
USP-IG	Geociências (Min./petrologia)	70	70	14	14	31	32	2	1
USP-IO	Oceanografia	72	83	12	12	28	7	3	1
USP-IAG	Geofísica	75	79	14	13	14	16	1	1
USP-IAG	Meteorologia	84	84	13	5	29	5	7	1
USP-IG	Geociências (Rec. min./hidro)	86	86	17	17	30	20	3	2
USP-IG	Geociências (Geoq./geotéc.)	86	86	16	16	24	41	7	5
USP-IG	Geociências (Geol. sedim.)	86	86	10	10	19	25	6	1
USP-FFLCH	Geografia física	71	71	12	12	75	48	7	5
Unicamp	Geociências	83		14	14	42		9	
Unesp-RC	Geociências (G. regional)	86	86	24	24	32	21	9	3
Unesp-RC	Geografia (Org. espaço)	77	83	24	24	43	20	10	5
Unesp-RC	Geociências (A. ambiental)	86	86	25	25	35	26	4	1
Inpe	Meteorologia	68	74	32	23	14	10	12	
Inpe	Sens. remoto	72		50	34	52		9	
UFPr	C. Geodésicas	71	83	20	8	38	8		
UFRGS	Geociências	68	68	29	27	60	39	14	4
UFRGS	Sens. remoto	90		11	9	16			
UnB	Geologia	75	88	20	18	31	17	9	
Total				547	438	980	378	197	34

Obs.: IES = instituição de ensino superior; M = mestrado; D = doutorado.

Vinculam-se de modo permanente aos programas de pós-graduação 547 docentes, dos quais cerca de 80% com titulação de doutor em ciências ou equivalente.

Em dezembro de 1991, o sistema se compunha de 980 alunos de mestrado e 378 de doutorado. Foram titulados, naquele ano, 197 mestres e 34 doutores, um resultado precário quando se leva em conta que, em conjunto, os programas de mestrado oferecem cerca de 300 vagas, e os programas de doutorado, cerca de 100 vagas. Tendo em vista que, na pós-graduação, a evasão não costuma ser muito grande, percebe-se que o alunado está crescendo, acarretando a saturação da capacidade de orientação em alguns programas, como é o caso do curso de geografia física da FFLCH da USP, em que a relação aluno/professor ultrapassa 10.

Os programas de mestrado têm formado anualmente cerca de 15-20% do total de alunos, o que corresponde a um tempo médio de residência do aluno no sistema de cinco a seis anos, excessivamente longo (na realidade, o dobro do tempo máximo de duração de uma bolsa de mestrado da Capes ou do CNPq). Os números são ainda mais desfavoráveis quando se examina a relação entre titulados e alunos matriculados que, no caso do doutorado, não chega a 10%. Segundo dados da Capes, a duração dos doutorados em geociências no Brasil excede, em praticamente todos os casos, 60 meses. As empresas brasileiras do setor mineral pouco contribuem para a formação de recursos humanos, com exceção da já mencionada Petrobras, através de sua colaboração com diversas universidades brasileiras. Em especial, ela mantém convênios para favorecer cursos de mestrado ou doutorado com a UFBA, a UFPa, a Ufop, a UFRGS e a Unicamp. Estes cursos têm conseguido elevado padrão de eficiência, e a empresa tem usufruído deles para a formação adequada de seu pessoal técnico, o que tem contribuído para o seu bom desempenho tecnológico dentro e fora do país.

7. Produção científica

A componente fortemente regional das geociências faz com que a maioria dos trabalhos da área seja publicada em revistas brasileiras. Muitos dos trabalhos de pesquisa realizados por docentes, estudantes de pós-graduação e profissionais da área são apresentados em reuniões científicas regionais, em congressos nacionais das sociedades científicas brasileiras, como a Sociedade Brasileira de Geologia e as congêneres de geofísica e de meteorologia, ou em associações mais especializadas, como as de geoquímica, paleontologia, estudos do quaternário, águas subterrâneas e geologia de engenharia. Por isso mesmo, uma grande parte da produção científica nacional é documentada por boletins de resumos ou anais de congressos e reuniões científicas análogas. Por essa razão, a produção científica convencional em revistas arbitradas e editadas de forma contínua, nacionais ou internacionais, é muito reduzida.

O indicador *produção científica* é crítico para a pós-graduação na área de geociências, justamente por não levar em consideração as publicações de con-

gressos e reuniões científicas, mas apenas o total de artigos publicados em revistas (nacionais e internacionais), resultando em valores geralmente muito baixos. Com poucas exceções, quase todas as instituições pesquisadas em 1990 e 1991 publicaram menos de um artigo por ano e por docente, chegando algumas delas a 0,0 e 0,3 artigo publicado por ano e por docente. Entre as poucas exceções estão os cursos de pós-graduação da USP e da Unesp, o de geofísica da UFBA, o de geoquímica da UFF, e os cursos de geologia da UnB e da UFRS, com um, ou pouco mais de um artigo, publicado por ano e por docente, índice apenas aceitável em uma instituição cientificamente ativa.

Por outro lado, se forem computados os trabalhos publicados em conexão com reuniões científicas, congressos e similares — regionais, nacionais ou internacionais —, os indicadores de produtividade melhoram significativamente, e os valores médios por vezes duplicam e, em certos casos, triplicam.

A situação se torna mais crítica quando se considera apenas as principais revistas científicas internacionais submetidas previamente às avaliações críticas de cientistas de renome. Através da Superintendência de Desenvolvimento Científico do CNPq, tivemos acesso a um banco de dados sobre a produção científica publicada nas principais revistas internacionais para o período 1988-91. Selecionando as publicações consideradas como as mais relevantes para as ciências da Terra, assinadas pelas melhores bibliotecas de geociências do país, e onde eventualmente são publicados trabalhos de cientistas brasileiros, tentamos identificar artigos de pesquisadores vinculados a instituições nacionais, quer como autores, quer como co-autores.

Os números são alarmantes. Grande parte de instituições de ensino e pesquisa do país simplesmente não publica nas principais revistas internacionais. Algumas instituições, como a UnB, a UFPa, a UFRS, a Unicamp, a UFRN, a UFRJ e a Unesp-Rio Claro, publicam cerca de um ou dois trabalhos por ano naquelas revistas. Mesmo as instituições que aparentemente mais publicam internacionalmente, como a UFBA, a USP e o Inpe, ainda publicam pouco quando se leva em consideração o número de docentes qualificados. A relação entre o número de publicações e o de docentes titulados é de 0,56 para a UFBA, 0,38 para o IG/USP, 0,48 para o IAG/USP, e 0,21 para o Inpe, para um período de quatro anos.

Na medida em que essas publicações são os principais veículos da produção científica nas ciências da Terra, fica claro que a participação brasileira na comunidade internacional é extremamente baixa e, em nossa opinião, incompatível com a qualificação científica e a maturidade já atingidas em certos segmentos da área. Como corolário, os dados geocientíficos a respeito do Brasil são muito escassos na comunidade internacional. Os geocientistas brasileiros preferem divulgar e discutir suas pesquisas em casa, nas revistas e nos congressos locais, e com isto as geociências brasileiras têm pouquíssima visibilidade na comunidade internacional, a não ser em casos raros e, quase sempre, quando isso envolve a colaboração com instituições estrangeiras.

8. As geociências brasileiras no plano internacional

Em razão do desenvolvimento muito recente das geociências no Brasil, o próprio conhecimento geocientífico do território brasileiro ainda é bastante incompleto para os padrões atuais, e bem menor do que o de outros países de extensão territorial similar. Uma comparação com o número de geólogos ou de profissionais equivalentes existente por volta de 1990 nos EUA, Canadá, Austrália, China e a ex-URSS, todos eles — com exceção da ex-URSS — com territórios de dimensão comparável à do Brasil, revela uma enorme disparidade quanto à densidade de profissionais. No Brasil, existe apenas um geólogo para cada 20 mil habitantes, quando a média geral, no caso dos Estados Unidos, da ex-URSS e da China é da ordem de um para cada dois ou três mil habitantes. Mais ainda, nos países de vocação mineira, com muitos e variados depósitos minerais em exploração, como a Austrália e o Canadá (e como deveria ser o caso do Brasil), a relação desce para um em 800 ou mil habitantes, significando que estes países possuem cerca de 20 vezes mais profissionais do que o Brasil. A disparidade é ainda maior no caso de alguns campos das geociências menos evoluídos no Brasil, como o da geofísica ou o da oceanografia física, em que o número de cientistas ou profissionais ativos nas poucas instituições brasileiras é muito baixo.

Em conseqüência do pequeno número de profissionais nas geociências, o conhecimento geológico, geofísico, meteorológico e oceanográfico do território brasileiro ainda está muito atrasado. Na escala continental, de reconhecimento, o desenvolvimento e utilização intensiva do sensoriamento remoto pelo Inpe nas três últimas décadas fazem com que os dados existentes sejam razoáveis. No nível do conhecimento regional ou local, entretanto, o território nacional encontra-se virtualmente inexplorado, em enorme defasagem com relação a países desenvolvidos como a Austrália ou o Canadá. Grandes extensões territoriais, como é o caso da região amazônica inteira, são praticamente desconhecidas, e os mapas geológicos existentes não vão além da escala ao milionésimo.

Como conseqüência do relativo atraso no desenvolvimento geocientífico brasileiro existem poucas publicações sobre a temática nacional. Além disso, elas são pouco visíveis na comunidade científica internacional. Acresce que, em função da baixa produção científica em revistas internacionais, a comunidade internacional tem pouquíssima informação sobre os resultados das pesquisas geocientíficas brasileiras, o que estimula a dependência científica que perdura há várias décadas em relação a geocientistas de países desenvolvidos que constantemente vêm ao Brasil em programas de colaboração bilateral, atraídos por temáticas diversas de grande interesse para o desenvolvimento das ciências da Terra. Com isso, muitos artigos científicos são elaborados em co-autoria com geocientistas estrangeiros. Se, por um lado, trata-se de um intercâmbio científico em que muito tem a ganhar a parte brasileira por outro, freqüentemente o mérito do trabalho e os seus dividendos são contabilizados para os pesquisadores de instituições do Primeiro Mundo, independentemente do estágio já atingido pelas pesquisas

locais. São freqüentes, ainda, publicações científicas a respeito da temática regional brasileira assinadas apenas por autores estrangeiros, com eventual menção à colaboração de parceiros locais.

Nos últimos anos, a situação vem evoluindo lenta, mas gradativamente, para maior visibilidade e reconhecimento internacionais, com o aumento de publicações de autores brasileiros em revistas conceituadas, como resultado da modernização e amadurecimento de algumas instituições de ponta — acadêmicas ou não — como o Inpe, a USP, a UFBA, a Petrobras etc.

Por outro lado, nos meios geológicos, o Brasil atingiu um certo desenvolvimento técnico e profissional, que se reflete em publicações internas pouco ou nada visíveis no plano internacional, e que carreiam uma certa respeitabilidade, alcançada através de competência demonstrada em muitas áreas de ponta, como levantamentos temáticos por sensoriamento remoto, mapeamentos geológicos em áreas florestadas, prospecção de petróleo na plataforma continental, em águas profundas, pesquisas de geoquímica de superfície e de alteração de rochas, estudos de solos tropicais e lateritas etc.

9. Tendências futuras das geociências

De maneira semelhante ao que vem ocorrendo em outras áreas, as geociências vêm-se empenhando em se adaptar aos novos paradigmas deste final de século XX, onde ambiente e desenvolvimento são as palavras de ordem impostas pela sociedade moderna. O desenvolvimento sustentável e a utilização de tecnologias sadias para o ambiente exigem uma reestruturação profunda dos padrões da sociedade de consumo e uma oferta de vida decente para a população de todos os países do mundo.

Neste cenário, cabe um papel extremamente importante às ciências da Terra: em primeiro lugar, porque elas sempre estiveram envolvidas com a busca e gerenciamento de diversos tipos de recursos naturais, como insumos minerais, água subterrânea, combustíveis fósseis etc.; em seguida, porque ocupam posição central e integradora no conhecimento global do nosso planeta, fornecendo os elementos factuais a respeito da superfície da Terra, seus ambientes, relevo, solos, águas territoriais, climas, e os processos naturais que nela se instalam em decorrência de sua dinâmica (erosão, sedimentação, mudanças climáticas, vulcanismo, terremotos etc.).

A própria ação antrópica sobre o meio físico é intensa e cresce no tempo em proporção geométrica, acompanhando a expansão populacional. O homem tornou-se, ele próprio, um importante fator geológico na medida em que utiliza anualmente, em média, cerca de 10 ou 12t de matérias-primas minerais. O fluxo de material que corresponde a esses valores é da mesma ordem daquele movimentado pela tectônica de placas, ou seja, à somatória dos processos naturais associados à dinâmica interna do planeta e expressos por abalos sísmicos, erupções vulcânicas e efeitos relacionados.

Dados sobre o meio físico são essenciais em qualquer abordagem dos problemas sócio-econômicos globais ou de escala supranacional e justificam a existência de programas científicos internacionais de grande porte, como o International Geosphere-Biosphere Program (IGBP), ligado ao Conselho Internacional de Uniões Científicas (ICSU), a Década Internacional de Redução de Desastres Naturais, das Nações Unidas, o World Climate Research Programme, da Organização Meteorológica Mundial, e o International Geological Correlation Program, da Unesco em colaboração com a União Internacional de Ciências Geológicas.

Apesar disso, as ciências da Terra não têm uma visibilidade compatível com a sua importância no âmbito da sociedade. A educação pré-universitária praticamente não inclui elementos das geociências, a não ser em países com vocação mineira ou sujeitos a algum tipo de desastre natural. Com isto, as ciências da Terra não fazem parte da cultura popular, em contraste com as ciências biológicas, físicas, químicas e matemáticas, e a atuação de geólogos, geofísicos, meteorologistas etc. não é reconhecida como origem de benefícios sociais importantes.

Na medida em que a questão ambiental tornou-se uma das preocupações maiores da humanidade, as ciências da Terra e, em particular, a geologia e a geofísica têm sofrido muitas críticas pelo fato de estarem associadas à procura e exploração de bens minerais, e sido denunciadas como potencialmente prejudiciais ao ambiente. É sintomático que a partir da década de 80 a mineração tenha sofrido uma forte recessão, com a redução da utilização de insumos minerais nos países industrializados (através de reciclagem e da substituição por novos materiais), a queda de seus preços, a redução de atividades e dos orçamentos das empresas do setor mineral, e o conseqüente desemprego de inúmeros profissionais das geociências.

A crise do setor mineral, de caráter mundial, perdura nos anos 90 e, no Brasil, é agravada pela difícil situação econômica nacional, que leva a uma retração dos grandes investimentos governamentais. Tradicionalmente, o setor mineral, no Brasil, tem sido considerado de importância estratégica, e as maiores empresas da área são estatais: caso da Petrobras, Vale do Rio Doce, CPRM, CBPM, Metago, Metamig etc. Como a prospecção mineral é de alto risco e de retorno eventual e de longo prazo, são poucas as empresas privadas de capital nacional que atuam no setor. Mesmo nestas últimas, os investimentos se reduziram bastante. Empresas estrangeiras ou multinacionais também pouco atuam, por dois motivos principais: o conjunto de leis em vigor, de cunho nacionalista, dificulta seu desenvolvimento, e a situação de permanente instabilidade econômica aumenta sensivelmente os riscos para investimentos de grande porte.

Fica evidente a necessidade de os cientistas e profissionais das geociências se mobilizarem, inicialmente, para superarem os diferentes problemas de visibilidade na sociedade e de crise no setor mineral e, em seguida, para adquirirem uma nova identidade, mais sintonizada com as aspirações da sociedade em que estão

inseridos. Em uma visão prospectiva, em quatro ou cinco décadas, a população mundial deverá atingir 10 ou 11 bilhões de pessoas, e a capacidade de suporte de nosso planeta estará próxima de seu limite. A demanda de matérias-primas naturais será crescente, assegurando aos cientistas e profissionais das ciências da Terra do futuro um papel de grande importância na busca e no gerenciamento desses recursos. Mais ainda, os geocientistas do futuro deverão aperfeiçoar suas funções de curadores, de guardiães da natureza, cabendo a eles, além do exercício de suas atividades técnicas específicas, zelar para que as instituições e empresas incluam em suas equações de custo-benefício todas as ações necessárias para evitar ou reduzir ao mínimo os impactos sobre a natureza, desenvolvendo explorações não-predatórias e que não impliquem degradação ambiental.

Existem pelo menos três tendências visíveis nas ciências da Terra do presente, e que, seguramente, serão desenvolvidas nas próximas décadas: quantificação, busca do subsolo e busca da interdisciplinaridade.

Quantificação

Embora a geofísica e a meteorologia já utilizassem em grande escala a linguagem matemática em suas atividades, nos últimos tempos, a aplicação da informática levou outros campos, como a geologia, a oceanografia e a própria geografia, a uma crescente quantificação, através da utilização de técnicas de geomatemática e geoestatística, bancos de dados de diversas temáticas, sistemas de informação geográfica (GIS), sensoriamento remoto, cartografia digital, simulações e modelagens dos processos geológicos, geofísicos, meteorológicos, na tentativa de descrever realisticamente a natureza e evolução de nosso planeta, configurando uma evolução setorial compatível com as mais modernas e avançadas tecnologias.

Busca do subsolo

Deverão prosseguir com grande vigor os estudos da superfície terrestre, da hidrosfera e da atmosfera, com o objetivo de conhecer melhor os processos naturais que governam as mudanças de nosso planeta, incluindo aí modelagens cada vez mais complexas e realísticas da circulação atmosférica e oceânica. Por outro lado, com os recentes progressos do sensoriamento remoto, virtualmente se esgotaram as possibilidades de descoberta de novos recursos minerais ou energéticos na superfície ou próximo dela. Desta forma, já se reconhece a necessidade do mapeamento tridimensional, de subsuperfície, em que geólogos e geofísicos deverão cooperar em associação íntima na obtenção de uma linguagem comum e de um completo entendimento mútuo para otimizar o gerenciamento dos recursos do subsolo, sejam eles depósitos minerais, jazidas de combustíveis fósseis ou água subterrânea.

Busca da interdisciplinaridade

Esta é uma tendência dominante em todos os campos científicos e tecnológicos, tendo em vista o tratamento holístico necessário aos problemas de escala global, em especial daqueles ligados à questão ambiental. Os desafios existentes transcendem os limites das jurisdições nacionais, e as decisões políticas a respeito de gerenciamento dos recursos naturais, do planejamento do uso e ocupação da terra tornam-se extremamente delicadas em função da interdependência de inúmeros fatores científico-tecnológicos e sócio-econômicos. Nesse contexto, torna-se essencial a participação ativa dos geocientistas e profissionais análogos, em virtude de sua própria formação — que inclui fortes elementos regionais —, ao lado do conhecimento dos processos naturais que atuam sobre a dinâmica local, importante para o entendimento global do ambiente.

10. Recomendações para o desenvolvimento setorial

Pelo exposto, em uma estimativa global, o Brasil não dispõe de mais de mil pesquisadores das ciências da Terra vinculados a instituições acadêmicas, dos quais apenas cerca da metade tem título de doutor ou equivalente. O número de profissionais atuantes na área de geociências, em sua grande maioria geólogos, é da ordem de 8 mil, o que, em proporção à população brasileira, equivale a um coeficiente bem inferior ao de países, desenvolvidos ou não, com territórios de dimensões similares. A qualificação dos geocientistas nacionais é compatível com os padrões internacionais, com experiência reconhecida em várias atividades práticas de cunho regional, como mapeamentos geológicos e levantamentos geofísicos em regiões tropicais, pesquisa e gerenciamento de água subterrânea, interpretação integrada de imagens de radar e de sensoriamento remoto.

Na área acadêmica, as ciências da Terra padecem dos problemas comuns à ciência e tecnologia brasileiras, quais sejam, os baixos investimentos globais, atualmente da ordem de 0,7 % do PNB, e a instabilidade institucional. Por outro lado, os fatos de a comunidade geocientífica brasileira ser relativamente pequena e de que as ciências da Terra vêm sendo adequadamente contempladas pelo PADCT contribuíram para que as instituições científicas setoriais estejam mais do que razoavelmente equipadas. Além disso, a grande maioria dos grupos de pesquisadores ativos, com projetos de pesquisa de bom nível, vem conseguindo obter, junto às agências financiadoras do país (CNPq, Finep, Fapesp e outras), recursos para a execução de suas pesquisas.

Quanto aos aspectos profissionais, é inegável que, no Brasil, o número de geólogos e meteorologistas em atividades técnico-científicas é extremamente baixo, com uma quantidade também irrisória de geofísicos e oceanógrafos, face às necessidades básicas do país. Contudo, a solução do problema não passa por um aumento imediato do número de cientistas e profissionais da área, visto que o mercado de trabalho está saturado e a taxa de desemprego é elevada.

É necessário um planejamento nacional global, com a definição clara de metas factíveis e de cronogramas exeqüíveis, e a elaboração de leis que viabilizem sua implementação. Os comentários que se seguem são estritamente pessoais, e oferecidos a título de contribuição para possíveis discussões futuras a respeito da evolução do setor mineral brasileiro e de sua relação com o desenvolvimento das geociências.

É preciso considerar, de início, a regionalidade dos recursos minerais. Cada jazida é específica e diferente das demais. Daí decorre que, na indústria mineral, não se pode operar normalmente com transferência de tecnologia pura e simples, como em outras atividades industriais, e a componente de ciência e tecnologia tem um papel essencial no aproveitamento racional dos recursos e na produção de bens de maior valor agregado. Portanto, o desenvolvimento das técnicas e procedimentos adequados deve ser ajustado às características de cada jazida. No caso do Brasil, por ser um país de baixa latitude e de clima tropical, suas jazidas são sempre muito influenciadas por processos intempéricos e pela alteração de rochas. Muitos de seus recursos minerais, como bauxita, fosfatos, nióbio, anatásio, caulim e outros, são verdadeiras jazidas de intemperismo, com minérios de origem supérgena, que não são comuns nos países de regiões temperadas. Estudos específicos para o melhor conhecimento desses materiais e de tecnologias orientadas para maximizar o seu aproveitamento têm sido raros, merecendo essa área uma atenção maior no futuro.

Em relação aos recursos energéticos, especialmente o petróleo, sua pesquisa e lavra constituem monopólio da União, garantido pelo art. 177 da Constituição brasileira, e exercido através da Petrobras. Em princípio, entendemos que, em um mundo altamente competitivo, quaisquer monopólios trazem em seu bojo graves desvantagens, entre elas a tendência à acomodação, à perda de eficiência e ao corporativismo. Não parece ser esse o caso da Petrobras que, ao contrário, vem conseguindo excelente competitividade no plano internacional, como detentora de tecnologia de ponta na prospecção e extração de petróleo de águas profundas, atuando, presentemente, como parceira de outras companhias petrolíferas nas atividades de exploração do mar do Norte. A Petrobras tem-se mostrado extremamente séria e determinada na busca de desenvolvimento tecnológico, como demonstram os resultados das pesquisas realizadas tanto pelo Depex quanto pelo Cenpes, que colocam a empresa em vantagem até mesmo em relação às instituições universitárias brasileiras no tocante à produção científica internacional.

Por outro lado, o Brasil ainda não é auto-suficiente em petróleo e sua compra continua onerando pesadamente a pauta de importações. Ao conferir prioridade aos recursos disponíveis, a Petrobras está conseguindo desenvolver adequadamente sua produção e suas reservas nas bacias sedimentares da plataforma continental como a de Campos e outras. Entretanto, face à imensidão do território brasileiro, a empresa não tem conseguido dar andamento às operações de prospecção necessárias para explorar de forma adequada e em prazo relativamente curto todas as regiões do Brasil com algum potencial petrolífero.

A curto prazo, é evidente que o país não tem condições de arcar com os enormes investimentos de alto risco envolvidos na prospecção petrolífera e na prospecção mineral em geral. A saída poderá ser atrair investimentos estrangeiros em condições controladas, o que, no entanto, requer a revisão de toda a legislação sobre o setor mineral e até algumas modificações na Constituição de 1988 que, nessa matéria, é profundamente inadequada. Em seu artigo 176, a Constituição diz claramente que a pesquisa e a lavra de recursos minerais somente poderão ser realizadas por brasileiros ou por empresa brasileira de capital nacional, o que acaba atendendo a interesses corporativos "nacionalistas", em um contexto xenófobo. Mais ainda, em seu art. 174, §§ 3 e 4, favorece as atividades garimpeiras, dando-lhes inclusive prioridade na autorização ou concessão para determinadas jazidas de minerais garimpáveis.

O garimpo representa o mais importante problema ambiental gerado no setor mineral, especialmente no Brasil e na região amazônica, em razão do empirismo das técnicas empregadas e da contaminação do ambiente com mercúrio. A legislação deve ser adaptada à realidade da ação garimpeira, e os próprios garimpeiros conscientizados sobre os danos derivados de suas ações, dando-lhes oportunidade de transformar suas atividades em ações cooperativas ou em microempresas, ou, até mesmo, de migrar para atividades alternativas, como a agricultura.

Entre os principais problemas do setor mineral alinham-se a falta de capital nacional público ou privado para grandes investimentos, e a saída já mencionada seria a atração de investimentos estrangeiros, através de concessões controladas, contratos de risco ou *joint ventures*. Esses instrumentos foram, ou estão sendo, implementados por países da própria América Latina, como a Argentina e a Bolívia, para substituir situações de monopólio estatal, e por países como a Rússia e a China, na tentativa de reestruturar suas economias. Entendemos que uma estratégia de revitalização do setor mineral seria importante no sentido de recuperar a vocação mineira do país, condicionada pela extensão territorial e pela diversidade dos terrenos que compõem o solo brasileiro. Como já foi assinalado aqui, grande parte do Brasil não é conhecida, ou mal conhecida, permanecendo intacto seu potencial mineral. Ao mesmo tempo, diversas jazidas já conhecidas aguardam os investimentos necessários ao seu desenvolvimento, e muitas ocorrências já descobertas esperam pelas pesquisas necessárias para se tornarem jazidas.

A estrutura do Ministério das Minas e Energia, baseada no DNPM/CPRM, não tem tido, nos últimos 10 ou 12 anos, condições para implementar ações de fomento efetivas no setor mineral, muito menos para dar continuidade aos levantamentos básicos necessários para o conhecimento do território, e menos ainda para controlar adequadamente as atividades de mineração, em especial as de garimpo. Nossa recomendação é que o sistema seja revitalizado, com a implantação de um verdadeiro serviço geológico nacional, conforme estudos já realizados há vários anos, e com o aproveitamento da estrutura existente da CPRM.

No caso da meteorologia, alguns investimentos significativos já foram efetuados, para modernizar as operações no nível regional, faltando basicamente

melhor coordenação nacional. A solução evidente seria organizar um sistema nacional de meteorologia, cujos objetivos principais poderiam ser a otimização do uso e captação de dados meteorológicos, e o atendimento adequado dos usuários, na agricultura, nos transportes aéreos, fluviais e marítimos, na defesa civil, no gerenciamento dos recursos hídricos e no combate à poluição atmosférica.

As sugestões feitas — revisão e adaptação das leis existentes visando a uma nova estratégia de incentivo do setor mineral e à revitalização do sistema DNPM/CPRM e sua transformação em serviço geológico, nos moldes do que já existe nos países industrializados — seriam suficientes para o aquecimento do setor mineral e para melhorar seu desempenho em termos de divisas para o país.

Tendo em vista a população do país e sua dimensão territorial, o número de geólogos deveria ser bem maior, e os 19 cursos de graduação em geologia em funcionamento têm capacidade para fazer frente a uma demanda crescente de profissionais. Esse não é o caso, contudo, da geofísica, onde faltam cursos de graduação apropriados. Com relação à pós-graduação, os cursos existentes estão longe da saturação. Se houver necessidade e recursos, esses cursos têm condição de ser ampliados a curto prazo, dada a existência de pesquisadores com doutorado (ou quase) e de bolsistas ou ex-bolsistas sem vínculo de trabalho nas instituições em que estudam ou estudaram e que, no momento, estão fora do mercado de trabalho, podendo ser absorvidos como professores e orientadores.

Inteligência artificial

*Walzi C. Sampaio da Silva**

1. Preliminares: esquema geral do trabalho e elementos metodológicos

Este trabalho tem como objetivos:

- elucidar a composição disciplinar do campo de pesquisa da inteligência artificial (IA);
- informar sobre o estado-da-arte da pesquisa nessa área no Brasil;
- realizar uma abordagem crítica de antecedentes e perspectivas;
- sugerir políticas de fomento para o desenvolvimento desse campo no Brasil.

Pesquisa em IA: breve história intelectual da disciplina

A pesquisa em IA constitui um ramo interdisciplinar de história relativamente recente, que, no entanto, teve um impacto revolucionário nos estudos relativos ao conhecimento humano, sua gênese e justificação. Em virtude de características peculiares da nova disciplina, relacionadas justamente com sua interdisciplinaridade, tem havido uma certa convergência de esforços entre pesquisadores da área de ciências humanas (sobretudo da filosofia e da psicologia) e pesquisadores da área tecnológica (da informática, engenharia de sistemas e produção).

O engajamento de profissionais de diferentes áreas do conhecimento em torno de recursos de pesquisa configura um novo paradigma de tratamento de problemas clássicos, consolidável sob a forma de uma nova matriz disciplinar. Por esse motivo, não há como fazer uma avaliação do *status* da pesquisa em IA no Brasil sem um breve relato da história intelectual da disciplina.

Antecedentes da pesquisa em IA no Brasil e delimitação do objeto da pesquisa

Um importante trabalho que antecedeu esta pesquisa foi o relatório técnico-científico *Desenvolvimento da inteligência artificial e da engenharia do conhecimento no Brasil* (Thiollent et alii, 1990). Coordenado pelo professor Michel Thiollent, do setor de Engenharia de Produção da Coppe/UFRJ, o trabalho tem

* Departamento de Filosofia, Universidade Federal Fluminense.

uma envergadura que o situa como referência obrigatória para a constituição de uma base empírica na área. Trata-se de pesquisa relativamente recente — cujos dados foram coletados em 1990 — em relação à qual procedemos a uma atualização parcial, centrada nas instituições e pessoas ligadas à pesquisa acadêmica na área, tal como consta da seção 3.

O trabalho do professor Thiollent e sua equipe, portanto, é uma espécie de pressuposto deste artigo e uma fonte de referência obrigatória, em especial, de informação sobre tópicos que ultrapassam o âmbito de nosso artigo. Do ponto de vista metodológico, restringimo-nos a um estudo da pesquisa em IA no Brasil em instituições acadêmicas de pesquisa pura e aplicada. Por instituições acadêmicas entendemos aquelas autodenominadas grupos, centros ou institutos de pesquisa, desvinculadas de sistemas empresariais e normalmente associadas a instituições federais ou privadas de ensino superior, cujos quadros são compostos por membros da comunidade acadêmica e que atuam com base em uma ética de pesquisa também acadêmica.

É claro que há interseções entre quadros desses institutos e quadros empresariais do sistema produtivo, e também, em alguns casos, relações de trabalho (prestação de serviços, assessoria, venda de resultados de pesquisa etc.) em que esses institutos se envolvem direta ou indiretamente com o sistema produtivo. Embora abordadas pela pesquisa do professor Thiollent, essas inter-relações estão fora do escopo do nosso estudo, na medida em que este é um projeto que visa aprofundar uma avaliação do sistema de ciência e tecnologia no Brasil, o qual não se identifica com o sistema produtivo, por mais intenso que seja o intercâmbio de instituições de pesquisa pura ou aplicada na área de IA com o mercado consumidor de produtos e serviços decorrentes dessa pesquisa.

Metodologia

A metodologia usada para explorar o material que se segue focaliza as peculiaridades qualitativas que dão feição à pesquisa recente em IA no Brasil. De que maneira os grupos e pesquisadores se organizam em torno de que temas, quais as relações desses temas com a matriz disciplinar da ciência da cognição e da IA: essas questões constituem o eixo do nosso trabalho e delas partem a avaliação e as recomendações de políticas de apoio a essa área.

Por sua vez, a pesquisa do professor Thiollent apresenta dados quantitativos importantes, que revelam aspectos cruciais da distribuição dos recursos humanos na pesquisa recente em IA e áreas afins no Brasil.

A referência a esse material empírico preexistente e sua atualização qualitativa servirão de base aos principais parâmetros que esse trabalho procura identificar:

a) o temário da IA em uma perspectiva histórica recente;

b) como esse temário se reflete no trabalho de pesquisadores de IA no Brasil;

c) as pessoas e instituições acadêmicas em torno das quais esses pesquisadores têm-se organizado;

d) os padrões de financiamento que têm predominado;

e) o estilo geral através do qual se realiza esse tipo de pesquisa de fronteira em nosso meio.

Os objetivos metodológicos de (*a*) a (*d*) deverão subsidiar a caracterização de (*e*); sobre ela se desenvolverá uma avaliação crítica e dela decorrerão as recomendações normativas contidas neste trabalho.

Avaliação e considerações críticas

Além de concentrar sua abordagem na dimensão acadêmica da pesquisa em IA e em sua avaliação crítica, este artigo se propõe a discutir teses novas, cujo mérito é conduzir a uma visão axiológica do ambiente acadêmico em que a pesquisa em IA se desenvolve no Brasil, à luz dos dados e de sua atualização, com ênfase em peculiaridades locais.

Escopo e abrangência das recomendações normativas

As recomendações normativas quanto a políticas de fomento para a área, objeto da seção 5, devem ser consideradas *cum grano salis*. Elas decorrem do entendimento do autor de peculiaridades desse campo acadêmico em nosso meio, conforme o descrito na seção 4. O estatuto dessas recomendações tem um caráter condicional: a crer na visão sugerida pelo material empírico e pela avaliação realizada sobre esse material, as recomendações normativas nos parecem sustentáveis.

É inevitável que nossas recomendações eventualmente se superponham às que foram feitas no trabalho de Thiollent — até pela necessidade de não desperdiçar o esforço daquela equipe de pesquisa.

2. A matriz disciplinar e temática da pesquisa em IA em uma perspectiva histórica recente

A pesquisa em IA, abrangendo o temário que hoje reconhecemos como típico da disciplina, teve sua origem em uma interessante tensão entre disciplinas filosóficas e disciplinas empíricas, sobre a gênese e a justificação do conhecimento humano. Da agenda clássica da epistemologia, em seu *status nascendi* na filosofia de Sócrates, Platão e Aristóteles, constam praticamente todas as ques-

tões que foram objeto de preocupação dos epistemólogos até os dias de hoje. Essas questões indagam, basicamente, o que podemos conhecer, por que podemos conhecê-lo, como se dá o processo de conhecimento, qual é o estatuto metodológico desse processo e quais são os fundamentos racionais dos produtos objetivos de nossa cognição. Esse núcleo de questões é a matriz a partir da qual se desenvolve a área da epistemologia, entendida como disciplina filosófica. Questões decorrentes, como as que indagam sobre as relações entre conhecimento e linguagem, ou as que se ocupam de investigar a natureza da mente que conhece, também integraram a agenda filosófica desde os gregos até o presente.

Como se sabe, no entanto, a estratégia filosófica de tratamento de problemas é essencialmente *a priori*. Na época dos primeiros filósofos, não havia qualquer embaraço metodológico para se tratar de problemas empíricos a partir de uma estratégia de cognição *a priori*. Com o surgimento gradual das ciências especiais, desde a física até as ciências humanas, a filosofia perdeu a substância de seu escopo, embora a natureza de sua investigação tenha-se tornado mais clara. Com essa divisão do trabalho cognitivo, coube ao epistemólogo investigar aspectos não-empíricos da realidade (como questões muito gerais a respeito da ontologia ou metafísica que uma teoria científica supõe), ou aspectos axiológicos que dariam corpo ao estatuto racional da metodologia da ciência e, em última instância, do caráter racional dos produtos objetivos de nossa cognição científica.

Até o início do nosso século, essa divisão de tarefas permaneceu intocada. Antes que as ciências humanas conhecessem o seu grande *boom* no início deste século, a ninguém acudia negar à epistemologia o direito de investigar aprioristicamente questões de metafísica e valor. Reconhecia-se como inevitável a defasagem entre juízos de valor e juízos de fato; assim como a qualidade distintiva de um mandamento ético, como "não matarás", permanece intocada mesmo em tempos de guerra — embora, na prática, não seja respeitada —, a qualidade epistemológica distintiva de valores epistemológicos também permaneceria incólume à variação empírica. Em especial, no entender da epistemologia clássica, questões relativas ao estatuto racional e à gênese do conhecimento não poderiam ser sujeitas a tratamento *a posteriori*, simplesmente porque o núcleo axiológico que confere caráter racional ao conhecimento humano e sua heurística não deveria ser afetado por elementos empíricos do contexto factual da gênese desse próprio conhecimento.

Esse monopólio epistemológico sobre elementos portadores de valor cognitivo (elementos que, como verdade, poder explicativo, verificabilidade, coerência lógica, poder previsivo e poder retrovisivo, possuem função regulativa em nossas decisões epistêmicas) foi incisivamente atacado a partir do primeiro quartil do século XX. Sociólogos do conhecimento, como Mannheim (Silva, 1985, cap. 1), reconheceram apropriadamente que a ciência e seus valores não se desenvolvem em um vácuo cultural, e a antropologia contribuiu com uma impressionante variedade de estilos cognitivos e estimulou o debate sobre as implicações filosóficas dessa variedade (Wilson, 1970; Laudan, 1990).

Foi a partir dos anos 70, no entanto, que se completou o processo — fatal para as pretensões de exclusividade da epistemologia clássica no trato de suas questões — pelo qual se reconheceu decisiva a influência do contexto da gênese do conhecimento científico sobre a natureza e a alegada racionalidade desse conhecimento. Ora, esse contexto tem uma dimensão antropológica, uma dimensão sociológica e uma dimensão psicológica (Silva, 1992). O estabelecimento de nexos causais entre cultura e racionalidade teve sua origem nos escritos do segundo Wittgenstein e reflexos em debates como o que se resume em Wilson, 1970. Um importante projeto metateórico visando incluir no escopo da sociologia do conhecimento a mesma agenda de problemas que orientou a constituição da epistemologia como disciplina filosófica consiste, essencialmente, nos chamados programas fortes em sociologia da ciência (Bloor, 1976 e 1983; Brown, 1984). E o mais recente e decisivo momento da segmentação da epistemologia clássica coincide com o nascimento da ciência da cognição.

Se considerarmos como programas fortes todas as tentativas de tratar empiricamente, *a posteriori*, problemas epistemológicos clássicos, a ciência da cognição deverá ser considerada o mais forte dos programas fortes. Uma das maneiras de caracterizar esse programa é mencionar parte sugestiva de seus pressupostos básicos e listar parte igualmente sugestiva de questões geradoras da perspectiva.

Uma das melhores fontes sobre o desenvolvimento da ciência da cognição é *The mind's new science* (Gardner, 1987). Considerado um clássico da literatura introdutória, a obra contém tanto uma explicitação de pressupostos quanto um inventário de questões inaugurais. Os pressupostos básicos são divididos por Gardner em duas classes: os que expressam crenças fundamentais da perspectiva e os que estabelecem decisões metodológicas de cunho estratégico. Segue-se uma transcrição do autor (Gardner, 1987:6) quanto aos pressupostos básicos da perspectiva:

> *I define cognitive science as a contemporary, empirically based effort to answer long-standing epistemological questions — particularly those concerned with the nature of [human] knowledge, its components, its sources, its development, and its deployment.*
>
> *Of the various features or aspects generally associated with cognitive-scientific efforts, I consider five to be of paramount importance. Not every cognitive scientist embraces every feature, of course, but these features can be considered symptomatic of the cognitive-scientific enterprise.*
>
> *(1) First of all, there is the belief that, in talking about human cognitive activities, it is necessary to speak about mental representations and to posit a level of analysis wholly separate from the biological or neurological, on the one hand, and the sociological or cultural, on the other.*

(2) Second, there is the faith that central to any understanding of the human mind is the electronic computer. Not only are computers indispensable for carrying out studies of various sorts, but, more crucially, the computer also serves as the most viable model of how the human mind functions. (...)

Desses pressupostos depreendemos que, do ponto de vista da cognição, imperativos epistemológicos, sob a forma de recomendações normativas de cunho axiológico/metodológico, não desempenham qualquer função no estudo elucidador da cognição humana, excetuando-se a função empírica de serem elementos frente aos quais o agente cognitivo reage de alguma maneira, ao longo de sua atividade: a atividade cognitiva deve ser o objeto de investigação *a posteriori*.

Entretanto, foi o segundo pressuposto transcrito — que postula a função modelar de sistemas computacionais artificiais para a caracterização e compreensão da mente humana e de suas capacidades cognitivas — que deu origem ao que talvez constitua o ramo mais vigoroso da pesquisa em ciência da cognição, a inteligência artificial.

Embora exista uma expressiva tradição de pesquisa em ciência da cognição que não inclui diretamente a pesquisa em IA, esta, por seu turno, deriva da mesma base de conceitos e questões geradoras da ciência da cognição (Gardner, 1987, cap. 6). Do ponto de vista das estratégias metodológicas, alguns desses elementos geradores também se inspiram em Gardner (1987:6 e seguintes e cap. 3):

a) deliberação normativa de diminuir expressivamente a ênfase sobre fatores afetivos, emocionais, culturais, históricos e sociais na investigação da mente e sua atividade cognitiva;

b) disposição de enfatizar estudos interdisciplinares, envolvendo o debate com campos tão diversos quanto a lingüística, a psicologia, a própria filosofia, a neurologia e similares;

c) inclusão de toda a agenda de questões da epistemologia clássica no escopo da ciência da cognição;

d) ênfase sobre modelos matemáticos e computacionais de conhecimento;

e) adoção de modelos neurais ou redes neurais como caracterizadores de sistemas inteligentes;

f) desenvolvimento de tecnologias capazes de produzir modelos neurais artificiais, capazes de simular o comportamento de agentes cognitivos humanos;

g) extensão de resultados a uma teoria geral da informação, de caráter relativamente globalizante.

É possível afirmar, com pequena margem de erro, que a tradição de pesquisa pura em ciência da cognição tem-se desenvolvido no sentido de expandir o exame dos dois pressupostos básicos mencionados, promovendo sua conexão com as questões geradoras de (*a*) até (*c*), ao passo que o objetivo da pesquisa aplicada no campo da IA é desenvolver as questões geradoras de (*d*) até (*g*), com enorme ênfase sobre (*f*).

3. Pesquisa em IA no Brasil: antecedentes e atualização

Esta seção discorre sobre a caracterização do estado-da-arte da pesquisa em IA no Brasil segundo oito parâmetros. Cada um desses parâmetros será objeto de uma discussão crítico-avaliativa.

Coincidência de conteúdos temáticos

Ao investigar o material empírico disponível sobre IA no Brasil, indagamonos primeiramente se a composição substantiva das pesquisas mencionadas e a gravitação temática dos artigos acadêmicos produzidos em nosso meio correspondem ao recorte antecipado na seção anterior, e encontramos de imediato um resultado positivo. A pesquisa em IA no Brasil trata exatamente do temário característico da disciplina em centros internacionais, ou seja, se ocupa de conteúdos idênticos aos das questões geradoras ou deles derivados. Preocupa-se, igualmente, com aplicações e favorece pontes interessantes entre o setor acadêmico e o setor produtivo.

Consistência de reputações

A base empírica de Thiollent (1990) se compõe de um universo mais amplo do que o que tratamos aqui. De um lado, o eixo temático da investigação coordenada por ele inclui áreas afins à IA, em geral relacionadas com engenharia do conhecimento. De outro lado, listam-se naquela base empírica empresas privadas, de natureza não-acadêmica. Ao sumarizarmos o perfil geral dessa base, de modo a que fique clara uma importante característica que desejamos isolar, lançaremos na tabela 1 um resumo do número de pesquisadores localizados por Thiollent nas instituições pesquisadas listadas segundo sua natureza, obede-

cendo à denominação e à ordem de ocorrência dos dados constantes naquela base empírica.

Tabela 1

Natureza da instituição	Nº de instituições pesquisadas	Nº de pesquisadores
Bancos estatais	1	3
Bancos privados	1	1
Bureaux de serviço	1	19
Centros de P&D universitários	1	7
Centros de pesquisa privados	1	1
Centros de pesquisa estatais/estaduais	4	16
Empresas privadas	3	3
Entidades de governo estadual (SP)	1	5
Entidades do governo federal	17	53
Fabricantes de *hardware*	7	15
Fabricantes de *software*	5	4
Fabricantes de *software/hardware*	2	32
Fornecedores de sistemas	4	4
Institutos de ensino/pesquisa (federais)	6	31*
Institutos de pesquisa	2	20*
Laboratórios de pesquisa	2	3
Universidades	22	132*
Total	80	349

* Pesquisadores em instituições acadêmicas.

A intenção aqui é, primeiramente, mostrar que há uma predominância de pesquisadores em instituições acadêmicas (assinaladas com asterisco, na tabela 1), conforme sintetizado na tabela 2.

Tabela 2

Natureza geral das instituições	Nº de instituições pesquisadas	Nº de pesquisadores	Média de pesquisadores/ instituição
Acadêmicas	30	183 (52%)	6,1
Não-acadêmicas	50	166 (48%)	3,3
Total	80	349 (100%)	-

A predominância que se percebe na tabela 2 é pequena (+2%), mas significativa, porque a média de pesquisadores por instituição acadêmica (6,1) é quase duas vezes superior (84%) à das instituições não-acadêmicas (3,3).

Em vista disso, decidiu-se restringir o enfoque deste trabalho exclusivamente às instituições acadêmicas, já que nelas efetivamente se aglutinam grupos de pesquisa em IA. É aí, entretanto, que nos deparamos com um pequeno obstáculo derivado da forma como se organiza a base de dados de Thiollent. Não há qualquer indicação sobre se os nomes de especialistas listados correspondem a pessoas que realizam sua pesquisa acadêmica especificamente em IA, ou se são parte de grupos que diversificam seus interesses em outras direções do eixo focalizado por Thiollent, direções essas que são afins à IA, mas não são propriamente IA.

Essa é uma dificuldade importante, pois se este artigo visa a uma avaliação do estado-da-arte da IA sob o ponto de vista da pesquisa acadêmica, desenvolvida em universidades e institutos de ensino/pesquisa, torna-se necessário aprofundar um pouco a percepção desses dados para localizar os grupos de especialistas efetivamente vinculados à pesquisa em IA.

Com o objetivo de superar esse impasse, optamos pelo critério da consistência de reputações: quando indagamos a um pesquisador que trabalha em IA quem é quem na pesquisa especificamente direcionada ao campo, que nomes obtemos como resposta?

Uma das características peculiares dos grupos de pesquisa de IA no Brasil é uma certa consistência entre respostas à pergunta "quem é quem em IA no Brasil". Em geral, os líderes de grupo, ou pesquisadores de notória atividade na área, mencionam espontaneamente o nome de pares que realizam atividades congêneres. Os nomes recorrentes, entre as pessoas com quem tivemos contato, foram, em ordem alfabética: Aloísio Arcela (UnB/DF), Dóris Ferraz de Aragon (ILTC/RJ), Emmanuel Lopes Passos (IME/RJ), Gentil Lucena (UnB/DF), Hélio Silva (UFPb-Campina Grande), Maria Carolina Monnard (USP-São Carlos), Michel Thiollent (UFRJ/Coppe), Rosa Viccari (UFRS), Sheila Veloso (UFRJ/Coppe), Tarcísio Pequeno (PUC/RJ).

Essa é uma lista restrita, se comparada com a base de dados de Thiollent (1990), que dispõe de uma listagem de 349 especialistas que será discutida em "Tendências à aglutinação de esforços de trabalho em torno de pesquisadores seniores", mais adiante nesta seção 3 e que inclui instituições privadas de cunho não-acadêmico, além de especialistas de áreas afins à IA, mais próximas da engenharia de produção (que foi foco direto do trabalho coordenado por Thiollent). A nova lista, bem mais reduzida, é uma espécie de atualização que representa melhor os pais de escola, líderes seniores em torno dos quais a pesquisa em IA se desenvolve em nosso meio acadêmico.

Nosso contato pessoal com o universo de pesquisa em IA indica que, no Brasil, ela é composta por grupos que se organizam em torno de esforços voluntários de pesquisa, empreendidos por pesquisadores seniores. Peculiaridades dessa organização passam, nas seções que se seguem, a ser expostas (e posteriormente

discutidas) e incluem uma avaliação do tipo de relações que o sistema acadêmico (52% dos quadros) mantém com o sistema não-acadêmico (48% dos quadros).

"Prontidão" para o tema

A pesquisa em IA exerce grande fascínio sobre uma ampla gama de pesquisadores das áreas de ciências humanas e de ciências exatas. Nas ciências humanas, há espaço em IA para o trabalho filosófico-crítico sobre a representação do conhecimento e os pressupostos e implicações filosóficas que orientam a constituição de sistemas inteligentes (Silva, 1992).

Esse fascínio se traduz por uma grande expectativa acadêmica em torno do trabalho em IA. Os pesquisadores mais jovens e os estudantes vinculados a grupos de pesquisa em geral acalentam a idéia de que sua conversão ao trabalho com IA lhes venha a garantir a possibilidade de trabalhar rapidamente em áreas de pesquisa de fronteira, sem a necessidade de erudição, e a possibilidade de realizar uma transição de vínculos, da esfera acadêmica para a esfera produtiva, menos incerta e menos dolorosa (para usar os termos de um dos respondentes) do que quando realizada em outras áreas, tanto das ciências humanas quanto das exatas.

Todos esses elementos criam uma espécie de estado de prontidão para a pesquisa em IA, que se reflete sob a forma de uma procura mais ou menos constante de posições de trabalho acadêmico em grupos dedicados à área.

Caráter motivacional espontâneo

A adesão de pesquisadores à tradição de IA — sejam experientes, iniciantes ou alunos — tem um caráter assistemático, de ordem motivacional e espontânea. É difícil afirmar exatamente que fatores reais levam alguém a iniciar um grupo de trabalho, ou se vincular a ele. Trata-se de puro interesse pessoal, orientado por indicadores destituídos de qualquer especificidade ligada à IA.

Parte desse interesse se explica pelo parâmetro de prontidão mencionado acima. A estrutura da disciplina favorece o trânsito rápido para a pesquisa de fronteira e sugere aplicações de ordem tecnológica no setor produtivo. Esses indicadores incitam à adesão espontânea à pesquisa do campo, mas são, como dissemos, muito vagos. Outros grupos de pesquisa, interessados em outras áreas de trabalho caracterizadas por relações fecundas entre pesquisa pura e aplicada, tenderão a se orientar, *mutatis mutandis*, por indicadores como esses.

Modalidades de institucionalização

As relações entre ensino e pesquisa no meio acadêmico nacional são objeto de certa polêmica na literatura histórico-crítica sobre o desenvolvimento do sistema de ciência e tecnologia no Brasil (Schwartzman, 1981; Coelho, 1988). Um

dos modelos pelos quais essa relação se consubstancia é a formação de centros de pesquisa — células de excelência — em instituições de ensino superior.

Este tem sido o modelo predominante na criação de uma tradição de pesquisa em IA no Brasil. A maior parte dos centros que constituem a base empírica de Thiollent (1990) é gerada como uma célula de excelência associada a uma instituição de ensino superior. A célula pode estar integrada na estrutura universitária que a circunda, de forma que sua existência se deva à ação distintiva de um grupo de pesquisadores, ou pode funcionar como uma instituição à parte, com existência jurídica própria.

As pesquisas em IA podem ser uma tônica que orienta fortemente um curso regular de mestrado em ciência da computação (caso da Universidade de Brasília), ou podem ter uma presença forte em uma instituição de peso, convivendo, no entanto, com outras atividades, temários e tendências (casos da Coppe, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, do Instituto Militar de Engenharia e da Pontifícia Universidade Católica, ambos no Rio de Janeiro, ou do Instituto Tecnológico da Aeronáutica, no estado de São Paulo). Podem, ainda, realizar-se em uma instituição de identidade jurídica distinta da universidade em que estão instaladas, muito embora prevaleçam relações íntimas entre a célula de excelência e a universidade que a cerca (caso do Instituto de Lógica, Filosofia e Teoria da Ciência, ILTC, instituição privada que funciona em instalações da Universidade Federal Fluminense, em Niterói, RJ).

A regra, no entanto, é a proximidade de uma universidade, ou instituição regular de ensino e pesquisa, em relação a um grupo de pesquisa em IA. Algumas características recorrentes no processo de formação desses grupos, em torno do seu ambiente acadêmico, serão discutidas nas duas próximas subseções.

Tendência à aglutinação de esforços de trabalho em torno de pesquisadores seniores

Há um padrão na gênese de grupos de pesquisa em IA no Brasil: a presença de um pesquisador sênior experiente, com prestígio acadêmico local ou nacional, e com história prévia nas entidades de fomento (CNPq, Capes, Finep e estaduais), que dê início ao grupo e congregue seus esforços posteriores. A lista de nomes citada em "Consistência de reputações" é, na verdade, uma lista de pesquisadores seniores. Em Thiollent (1990) há, como vimos, uma base de dados listando os *staffs* de pesquisa em IA e engenharia de produção em 80 instituições de natureza variada. São listados 349 especialistas, mas admitimos que esses nomes não representem de fato o elenco de recursos humanos específicos de IA no país. De maior envergadura, voltado também para o setor privado não-acadêmico, e possuindo um eixo de referência que também cobre a pesquisa em engenharia de produção, o trabalho de Thiollent listou recursos humanos que extrapolam os quadros que trabalham especificamente com IA no Brasil.

Entretanto, muitos desses nomes formam um contingente de pesquisadores, em atividades correlatas à IA, que participa como um pano de fundo na constituição de uma massa crítica de trabalho nessa tradição em nosso meio. A existência de especialistas em áreas correlatas no âmbito das empresas privadas é indicador da existência de uma demanda não só de recursos humanos, mas também de produtos acadêmicos resultantes da pesquisa em IA, predominantemente sob a forma de *software* e treinamento de quadros.

Os pesquisadores seniores são, em geral, o elo entre as fontes financiadoras e os grupos de pesquisa. Seus nomes são cogitados para a promoção de atividades de treinamento, desenvolvimento de sistemas, indicação de pesquisadores a serem absorvidos pelo mercado etc. Servem também de referência em solicitações de recursos junto a instituições financiadoras governamentais, estaduais ou federais.

Julgamos, então, cabível identificar um componente reputacional na modalidade de institucionalização de pesquisas em IA no Brasil. É possível que haja mais nomes seniores do que os identificados em nosso trabalho; é possível que esse elenco de nomes não seja completamente estável no longo prazo. Mas, a curto e médio prazos, os nomes que mencionamos representam os aglutinadores de grupos de pesquisa, e é em torno dessas pessoas e instituições que o trabalho específico com IA vem se desenvolvendo em nosso meio acadêmico.

Sazonalidade na prestação de serviços ao setor produtivo

Mencionamos antes a existência de um pano de fundo à pesquisa de IA no Brasil, que consiste de um número significativo de especialistas de áreas correlatas no setor das empresas privadas. Isso gera uma expectativa de que ocorram trocas de recursos entre o setor acadêmico de pesquisa e possíveis consumidores de resultados de pesquisa e processos de treinamento de quadros.

Essas trocas realmente ocorrem, mas são, geralmente, sazonais. É o caso, por exemplo, do ILTC, onde trabalha o grupo organizado pela professora Dóris Ferraz de Aragon. Trata-se de uma instituição privada, mas conveniada com a Universidade Federal Fluminense. Fundado em 1980, o ILTC deve sua continuidade e manutenção a um fluxo permanente de recursos derivados de projetos financiados por agências governamentais (Finep, CNPq e Faperj), mas quase sempre complementados pela prestação de serviços ao setor estatal (através de pacotes instrucionais para a Embratel e Petrobras, ministrados pelos pesquisadores do ILTC) e ao setor privado (por exemplo, desenvolvimento de sistemas para a Globotec).

De acordo com a professsora Dóris Ferraz de Aragon, esse fluxo, embora contínuo, é bastante variável. Definem-se ciclos do tempo em que, sazonalmente, há um máximo ou um mínimo de insumos de apoio às atividades de pesquisa. Contudo, nem sempre é possível conciliar esse processo de oferta e demanda: houve fases em que coincidiram certa plenitude de recursos de financiamentos governamentais e procura de serviços e produtos, oferecidos pelo ILTC, da parte de instituições-clientes do setor estatal ou privado. Mas houve épocas em que as

expectativas de insumos tiveram de ser drasticamente reduzidas, em ambas as frentes de atuação.

A sazonalidade dos recursos é um dos componentes que mais dificultam a consolidação de uma tradição de pesquisa em IA no Brasil. Como a organização dos centros se dá em torno de pesquisadores seniores, se por um motivo esses pesquisadores não conseguem levantar recursos para a pesquisa (em numerário, em equipamentos ou em bolsas), é possível que ocorra o desmantelamento do grupo organizado em torno do esforço do pesquisador sênior.

Dependência de financiamentos do setor de ciência e tecnologia

A dependência de financiamentos das agências financiadoras governamentais (Finep, CNPq e Capes) é o outro lado da moeda da sazonalidade de outras modalidades de obtenção de insumos. Ao que se sabe, nunca cessa por completo o apoio dessas agências a um centro de pesquisa consolidado em torno de um pesquisador sênior. No entanto, nos períodos de baixa demanda por produtos e serviços prestados pelas instituições, as expectativas de recursos se orientam predominantemente para o financiamento governamental.

São conhecidos os problemas de regularidade e fluxo de financiamentos do sistema brasileiro de ciência e tecnologia e não cabe aqui repetir ou, mesmo, discutir criticamente esses problemas. Se o que estamos tentando caracterizar é a modalidade de institucionalização da pesquisa em IA no meio acadêmico nacional, é suficiente assinalar que essa institucionalização não tem podido prescindir do apoio das agências governamentais nos períodos sazonais nos quais a captação de outros recursos é baixa.

Outro nexo de dependência entre os grupos de pesquisa e as instituições governamentais de fomento reside no credenciamento acadêmico: em geral, um grupo de pesquisa é identificado primeiramente em termos do seu nível de excelência acadêmica. O apoio das agências de fomento é sinal de excelência, aliado à posição acadêmica do pesquisador sênior na hierarquia de cargos docentes da instituição universitária da qual faz parte. A vigência de subvenções que se originam na avaliação da excelência é um dos indicadores que os clientes em potencial da instituição de pesquisa primeiro procuram identificar.

Modalidades de institucionalização: considerações finais

Em nossa percepção, portanto, a cristalização institucional e da pesquisa em IA em nosso meio acadêmico decorre essencialmente de um esforço voluntário de pesquisa, parcialmente determinado pelo fascínio que esse campo exerce sobre pessoas de formação acadêmica mais flexível. Esse fascínio, por sua vez, decorre da característica interdisciplinar da pesquisa em IA e do fato de que os pesquisadores rapidamente atingem regiões de fronteira.

Outro determinante do esforço voluntário de pesquisa consiste na possibilidade dos produtos de pesquisa se traduzirem em termos de recursos de informática: a IA é um campo *sui generis*, em que se pode desenvolver tanto pesquisa pura quanto pesquisa aplicada e que se caracteriza pela ausência de um *gap* muito grande entre ambas as modalidades de trabalho intelectual.

Grupos de pesquisa nesse campo se organizam em torno de pesquisadores seniores, em geral bem-reputados no meio acadêmico, e se consolidam em instituições quase sempre ligadas, direta ou indiretamente, a uma universidade. Apesar desse centro de gravidade acadêmico, existe um pano de fundo de especialistas — em IA, mas sobretudo em áreas afins — que compõe um contexto com o qual existe a possibilidade de trocas em termos dos bens intelectuais e dos produtos e serviços gerados pelos grupos de pesquisa em IA. Esses grupos são relativamente bem-sucedidos na oferta de produtos e serviços aos setores extra-acadêmicos que constituem o pano de fundo, mas essa demanda é sazonal. O prestígio desses grupos deriva, em parte, da posição acadêmica de seus líderes e, cumulativamente, dos quadros que se compõem em torno dos líderes; um indicador dessa modalidade de excelência tem sido o apoio de agências governamentais de fomento que, embora contínuo, varia em termos de montante e regularidade.

4. Meio acadêmico, IA e iniciativas voluntárias: peculiaridades da pesquisa em IA no Brasil de um ponto de vista axiológico e reputacional

Dissociação entre IA e ciência da cognição: ausência de philosophical sharpness

Apesar da grande coincidência temática entre os eixos substantivos de desenvolvimento da pesquisa em IA no Brasil e o conteúdo intelectual historicamente consolidado em torno da disciplina, bem como a dificuldade em se delinear restritivamente um temário para um campo de estudos interdisciplinar, observamos uma certa lacuna em termos de requisitos conceituais de ordem puramente filosófica para uma adequada consolidação temática do campo da IA em nosso meio.

A pesquisa em IA representa uma fecunda confluência de tradições da filosofia (predominantemente, da epistemologia clássica, da psicologia filosófica e da lógica), da psicologia da cognição e da ciência da computação. No Brasil, entretanto, os focos dominantes dos eixos de pesquisa em IA são os dois últimos, em detrimento do primeiro. Metodologicamente, nossa crítica é, em grande medida, determinada pela posição, de que a abordagem da IA deve partir da filosofia. Não obstante o possível *bias*, é notável que a fundamentação filosófica da pesquisa em IA em nosso meio seja menor do que a que se verifica em certos artigos de língua inglesa que compõem o quadro de referências dessa mesma pesquisa. A falta de acuidade filosófica leva a soluções puramente pragmáticas ou

simplesmente insatisfatórias para problemas que são inevitáveis no percurso temático substantivo das pesquisas em IA.

Isso se deve, talvez, à pressão que se exerce sobre os pesquisadores para atingirem rapidamente regiões de fronteira, em especial no campo da ciência da computação. Essa mesma falta de fundamentação filosófica pode ser sentida em outros textos em língua inglesa (Silva, 1992). Como muitas disciplinas com uma dimensão tecnológica, é possível fazer pesquisa em IA sem que seja obrigatória uma referência à história da IA. Nesse sentido, a IA compartilha de uma característica das ciências naturais. Entretanto, parte do paradigma da IA tem origem e fundamento na epistemologia e nossa opinião é que os temas do campo se consolidam melhor se o jargão filosófico subjacente for exato, e se as referências históricas forem, ao menos, conhecidas dos pesquisadores.

Base reputacional: o argumento da autoridade

Com relação à consistência das reputações, paira a dúvida de o apelo *ex cathedra* à autoridade de pares possa ocultar, ou não, uma linhagem de pesquisa levada a termo por grupos ou pessoas não necessariamente associados a pesquisadores seniores. Resta também a questão de se é possível considerar exaustiva a lista que foi reputacionalmente consistente.

Houve, no entanto, uma grande dificuldade de extrair de nossos interlocutores ou da base sistemática usada por Thiollent (1990) o quadro de recursos humanos de pesquisadores seniores na área específica da IA. O eixo do trabalho de Thiollent percorre não só um universo de instituições que extrapola o mundo acadêmico, como também se estende a eixos da pesquisa que são afins à IA, mas não necessariamente parte intrínseca dela. Não se trata de um defeito do trabalho mencionado; apenas, tornou-se necessário cotejar esses dados com a percepção de pesquisadores seniores da área específica da IA, o que resultou em grande restrição de nomes apontados em resposta a questões do tipo "quem é quem".

O que percebemos, na interação com pesquisadores e possivelmente na sistemática de constituição das listas componentes da base de dados de Thiollent (1990), são instâncias do argumento da autoridade: são pesquisadores em IA aqueles que, por alguém que pesquisa IA, são considerados como tal. Não há um elenco claro de requisitos de formação para caracterizar um pesquisador em IA, para além do seu trabalho diuturno, dos artigos que produz e da percepção que seus pares têm sobre esses trabalhos e sobre o temário desses artigos.

Parte desse fato se explica pela já mencionada característica de campo de estudos da disciplina; mas é possível que haja variação em níveis de excelência da pesquisa, por conta de idiossincrasias de seus gestores. Isso porque as reputações são construídas com certa liberdade de movimento e os perfis acadêmicos dos pesquisadores seniores podem variar bastante, o que nos conduz às considerações a seguir.

Formação auto-orientada e interacional

Da prontidão para o trabalho em IA, abordada neste artigo, decorre uma postura autoformadora de ao menos parte dos quadros de pesquisadores na área. Os mecanismos de inserção de um pesquisador no campo da IA devem variar imensamente de grupo a grupo. Como esses pesquisadores vêm de áreas relativamente díspares, nem sempre fica claro um elenco básico de requisitos, específicos da IA, que o neófito deva trazer como bagagem.

Há requisitos que são evidentes, como a aptidão para o formalismo lógico-matemático, o domínio de linguagens de programação, certa familiaridade com recursos da informática, mas esses requisitos não são específicos da IA e tampouco são encontrados predominantemente em profissionais da área tecnológica. Profissionais das áreas de ciências humanas e de ciências naturais também exibem esses requisitos.

A determinação de um elenco de requisitos mais específicos à área de IA dependerá de fatores contextuais, relacionados com o interesse do próprio pesquisador e com a composição de interesses do grupo em que se insere. Isto importa em reconhecermos que o perfil intelectual resultante de uma adesão voluntária de um pesquisador à pesquisa em IA, em nosso meio, é fruto de um processo de auto-orientação da parte do próprio pesquisador, em um ambiente em que ele também interage com outros pesquisadores que, igualmente, ocupam suas respectivas posições por meio de um processo semelhante.

Só mais recentemente a presença de uma geração mais ou menos consolidada de pesquisadores ao longo de cerca de quatro ou cinco anos produz, nos centros associados à lista de referência de pesquisadores seniores, processos regulares de pesquisa em área de concentração da IA. Novas gerações de pesquisadores poderão vir a apoiar-se nesses centros mais consolidados para obterem uma formação acadêmica de ordem curricular, diminuindo o peso do autodidatismo e a dependência da interação extracurricular com pesquisadores próximos.

Os riscos desse modelo, em que os grupos de pesquisa são autogerados interacionalmente, serão discutidos a seguir.

Tendência à dispersão e à assistematicidade

A natureza motivacional espontânea, que tem como decorrência certa informalidade na constituição de temas, no elenco de quadros humanos e nos processos de pesquisa, pode favorecer a ocorrência de certa dispersão e assistematicidade na pesquisa em IA no Brasil. Foi esta uma das impressões mais fortes que tivemos, quando procuramos identificar processos de pesquisa em andamento, seus condutores e líderes. Não há um vínculo institucional formal, de forma que o ambiente de pesquisa permaneça independentemente do *staff* de seus gestores e da ação permanente dos pesquisadores engajados.

Daí decorre que a pesquisa em IA no Brasil torna-se em geral muito vulnerável a fatores completamente externos ao mérito ou demérito das atividades acadêmicas. Trata-se de elementos externos, porque aparecem como restritores do trabalho acadêmico, à revelia da auto-avaliação que o grupo venha realizando e em detrimento das pretensões de continuidade do próprio grupo. A aposentadoria de um pesquisador sênior, um abalo sazonal no fluxo de financiamentos, eventuais quedas de motivação decorrentes da escassez de recursos de pesquisa, modificações na política de alocação de recursos das instituições em que estão sediados os grupos, todos esses fatores podem comprometer decisivamente a consolidação de um ambiente de pesquisa, tal como vem ocorrendo, nesse momento, com um dos mais ativos institutos de pesquisa em IA, o ILTC.

Fatores exógenos como esses são uma ameaça a qualquer linha de pesquisa. Entretanto, quanto mais consolidada a tradição da pesquisa, maiores são as suas possibilidades de persistência contra adversidades exógenas desse tipo.

Uma questão de institucionalização

Diante de tudo isso, o *status* da institucionalização das atividades de pesquisa em IA é relativamente nebuloso. Esse processo ainda não ocorreu especificamente para a IA: a pesquisa em IA apenas se beneficia de ambientes de pesquisa preexistentes nas instituições-sede. Uma parte das credenciais e dos quadros da instituição mais ampla é deslocada para o suporte das atividades em IA. Este é um dos problemas mais importantes e será objeto de nossas recomendações normativas.

Pesquisa idiossincrática

A existência de uma fraca institucionalização da pesquisa em IA e o fato de os esforços de pesquisa se aglutinarem em torno de pesquisadores seniores que têm como sede uma instituição já consolidada em outras áreas favoreceram o desenvolvimento de um certo caráter idiossincrático nos grupos existentes. Esses grupos possuem uma identidade de propósitos bastante forte, que compensa o caráter relativamente nebuloso de sua tradição nas instituições-sede.

O resultado desse processo de fortalecimento dos grupos via elementos intencionais e a estipulação de uma reserva de área de exercício por parte de seus membros, sem um concomitante processo de institucionalização exclusivo para a IA, se traduzem em idiossincrasias que cada grupo revela na composição de seu temário e de seus propósitos. São pequenas originalidades na solução de problemas de apoio, tais como convênios informais, compartilhamento de recursos de pesquisa através de compromisso verbal e outras formas de acomodação informal na instituição-sede, escolhas oportunistas (de oportunismo não-derrogatório) na associação com outras tradições de pesquisa (como engenharia do conhecimento, engenharia da produção, informática na educação etc.).

Sazonalidade de receita e dispersão institucional

É claro que a sazonalidade de recursos vem agravar o quadro de dispersão institucional caracterizado anteriormente. Mas os diversos centros acadêmicos de pesquisa — pelo menos os listados em Thiollent (1990) e associados aos pesquisadores seniores citados na seção 3 — têm conseguido garantir a continuidade de seu trabalho, ainda que em condições de sazonalidade de recursos.

Nas instituições relacionadas com os pesquisadores seniores, os grupos de pesquisa sênior também exercem atividades de ensino, porque a institucionalização em torno de atividades de ensino é anterior e mais forte. Por exemplo: se em um projeto subvencionado alunos recebem apoio sob a forma de bolsa, se são projetados cursos de médio prazo de duração, se é introduzida a IA como área de concentração de um programa de pós-graduação, garante-se ao menos um ciclo de apoio e a instabilidade de recursos será menor.

Vigora, assim, um mecanismo de compensação, tanto da sazonalidade de recursos quanto da baixa institucionalização, que é o estabelecimento de vínculos programáticos a médio prazo. Esses vínculos são de mercado, quando acordos são firmados entre instituições acadêmicas e seus clientes potenciais (daquele pano de fundo de consumidores virtuais de produtos da pesquisa, anteriormente mencionado). Quando fixados no interior de uma instituição-sede, entre um grupo de pesquisadores e a célula de excelência à qual vão se ligar, esses vínculos se relacionam a uma decisão político-acadêmica de privilegiar por algum tempo a iniciativa de pesquisa.

São raras as rescisões desses compromissos, ao menos nas instituições associadas aos pesquisadores seniores e, por essa razão, a tradição da IA tem sobrevivido até hoje, a despeito das dificuldades discutidas. Esse caráter inercial da persistência e desenvolvimento das pesquisas em IA no Brasil também se relaciona com o nexo de dependência dessas pesquisas em relação aos recursos do sistema governamental de ciência e tecnologia, como se verá a seguir.

Inércia do fomento governamental

A existência de fomento governamental à pesquisa em IA reforça o componente inercial na estabilidade a médio prazo dos centros de pesquisa. Como os ciclos de pleito e obtenção de recursos das agências governamentais são lentos, a sobreposição de projetos em curso, novos pleitos independentes e pleitos relacionados com projetos em curso asseguram um *overlapping* de expectativas de financiamento e de financiamentos vigentes, possibilitando, assim, sempre a médio prazo, uma continuidade do esforço de pesquisa.

Quando o grupo de pesquisadores é associado a um programa regular subvencionado de pós-graduação, as expectativas de financiamento do grupo coincidem com as do próprio programa; se alunos graduados fizerem parte do grupo, espera-se que a tradição vigore ao menos durante o período de formação discente. Essa percepção é parte fundamental da auto-avaliação do grupo com relação às suas possibilidades de estabilidade e continuidade.

Sumário da avaliação crítica

A pesquisa em IA no Brasil é resultado de uma mescla de fatores formais e informais. Os fatores formais são introduzidos pelas instituições de ensino e pesquisa em torno das quais gravitam os centros de IA, que são antes grupos de IA. Os fatores informais residem no caráter voluntário da dedicação de líderes ao tema e na adesão dos pesquisadores que esses líderes congregam em torno de si. Ocorrem relacionamentos entre centros acadêmicos de IA e um contexto que lhe serve de pano de fundo, composto por especialistas trabalhando em instituições não-acadêmicas. O componente voluntário faz dos grupos de pesquisa organismos autogerados, em certa medida auto-orientados, livres para trabalharem em IA em virtude de credenciais já auferidas, por vezes somente pelos membros seniores do grupo, no sistema universitário em suas respectivas especialidades. Um dos resultados desse tipo de gênese é o florescimento de características idiossincráticas no trabalho desses centros: cada caso é um caso, cada grupo obtém soluções próprias para problemas provenientes da sazonalidade de recursos de financiamento. Há um grande apreço pelo financiamento concedido pelas agências governamentais de fomento, tanto pelos recursos que geram quanto pela distinção que significam: o fluxo desses financiamentos produz um efeito inercial que garante a sobrevivência, a médio prazo, das linhas de pesquisa. Projeções a longo prazo são difíceis e, em geral, não são feitas pelos grupos no que concerne à sua continuidade ou a futuros apoios financeiros.

5. Sobre uma recomendação normativa para políticas de fomento: resumo executivo

Como já assinalamos, são muito importantes as recomendações normativas formuladas por Thiollent (1990: 652-63). Muito embora se apliquem a um espectro mais amplo do que a IA, elas são um ponto de partida para as nossas recomendações.

Resumo das recomendações normativas de Thiollent

•Definições e caracterizações: para a formulação de políticas de gestão em C&T, relacionadas com IA, é necessário que se conceitue bem a disciplina, suas conexões interdisciplinares e, sobretudo, seu jargão.

•Principais tendências da IA no Brasil e no mundo: acompanhar os focos de trabalho com base nos quais a IA tem-se consolidado: processamento de linguagens

naturais; processamento de imagens — computação gráfica; robótica; representação do conhecimento; sistemas especialistas; redes neurais; prova automática de teoremas.

• Capacitação científica e tecnológica: identificar os centros de pesquisa em que a IA se desenvolve no Brasil; no âmbito das instituições acadêmicas, esses centros ou grupos localizam-se na PUC/RJ, IME, UFRJ, UFRGS, Inpe, Unicamp, CCR/IBM, USP, UFPb, UFU, UFF e ILTC. O ensino de IA se desenvolve, predominantemente, na PUC/RJ, UFRJ, IME, UFRGS, Unicamp, UFPb, USP, UFU e UFF e CCR/IBM (esse último, uma empresa privada). Manter recursos bibliográficos, livros e periódicos, e facilitar modalidades de intercâmbio nacional e internacional entre pesquisadores, porque é predominantemente desse modo que se tem garantido um fluxo de informações relevantes na área de IA pelos centros ou grupos.

• Entrosamento com outras áreas de informática: estimular o entrosamento da IA com áreas afins, principalmente com a engenharia do conhecimento.

• Prioridades de desenvolvimento: situar a pesquisa em IA como uma prioridade das políticas governamentais e estimular a participação de empresas privadas no desenvolvimento, fomento e intercâmbio que viabilizem essas pesquisas.

• Política de fomento: detalhar prioridades em termos de linhas de pesquisa; acompanhar a atuação das duas sociedades científicas existentes, a saber, a Sociedade Brasileira de Inteligência Artificial (SBIA) e a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) na promoção de eventos e integração dos diversos grupos. Promover canais de divulgação dessa área, como contrapartida, ao público acadêmico, visando a maior consolidação desse segmento da comunidade científica.

• Relevância social da pesquisa em IA e disciplinas conexas: estimular a discussão sobre a aplicabilidade da IA à solução de problemas sócio-econômicos. Inserir a IA e a engenharia do conhecimento nas técnicas gerenciais (explorar essa importante via de aplicação da IA). Estimular o elemento cultural relacionado com a IA, por meio de uma forte interação dos grupos de pesquisa com seus contextos sociais locais.

• Estratégias de desenvolvimento da IA no Brasil. São delineados os seguintes cenários de possíveis estratégias: (a) desenvolvimento voltado a objetivos políticos e econômicos de modernização da indústria e da administração; (b) desenvolvimento orientado para a resolução de problemas sociais, relacionados com o bem-estar.

A partir dos elementos acima, Thiollent (1990: 671-3) e sua equipe formularam recomendações específicas, relacionadas a seguir:

• É necessário estabelecer uma política específica para IA e EC (engenharia do conhecimento), que tenha objetivos definidos e complementares, que fixe prioridades temáticas relevantes para o desenvolvimento nacional e que utilize amplamente os recursos humanos disponíveis no país.

• O planejamento de programas de IA deverá estar atrelado aos aspectos sociais, culturais e econômicos do desenvolvimento.

• A IA deve ser encarada como uma área interdisciplinar, na qual é essencial garantir o entrosamento entre a pesquisa básica e a aplicada.

• É necessário realizar um levantamento de aplicações não somente em áreas tecnologicamente competitivas como também em áreas socialmente relevantes: saúde, medicina, diversos ramos da engenharia, educação e outras.

• É necessário aprimorar as interações e mecanismos de intercâmbio no seio das comunidades científicas relacionadas com IA e EC.

• É importante incentivar a complementaridade e a integração das pesquisas desenvolvidas pelos grupos atuantes em IA e EC e também em outras áreas da informática relevantes para IA e EC, tais como processamento simbólico, buscas heurísticas e computação gráfica.

• É necessário ativar a informação científica e tecnológica sobre IA e EC, através da atualização de bibliotecas, com livros, periódicos e anais de congressos. Importante também é a criação de uma revista nacional especializada, com o objetivo de facilitar a troca de informações entre os interessados, além de mecanismos de divulgação de informação sobre o tema nos meios de comunicação de massa, inclusive no âmbito do jornalismo científico e no meio empresarial, através de contatos e palestras e da apresentação de resultados em feiras de informática.

• É necessário adotar uma política de recursos humanos voltada para IA e EC, através do aumento da oferta de cursos e treinamentos nas instituições que já atuam na área e da formação de pesquisadores e técnicos no país e no exterior.

• Para dar sustentação a uma política de desenvolvimento de IA e EC, é essencial assegurar a aquisição de equipamentos e *software*, e a manutenção e apoio a laboratórios.

• É importante incentivar projetos conjuntos entre universidades e empresas, parceria essa que tem sido o fator determinante no desenvolvimento da IA nos países desenvolvidos.

Nossas recomendações normativas

Endossamos, em suas grandes linhas, as recomendações normativas formuladas por Thiollent e apresentadas anteriormente, em especial quanto aos seguintes aspectos:

• o elemento cultural, visto por Thiollent e sua equipe como uma das dimensões da pesquisa em IA em nosso meio, se reveste do que identificamos como aspectos idiossincráticos dos grupos de pesquisa em IA; a idiossincrasia que apontamos — aquelas soluções e condutas peculiares a cada grupo — constitui, em parte, o contexto cultural que, à falta de uma institucionalização mais consolidada, permite a coesão e a reprodução do trabalho de pesquisa;

• o que identificamos como conduta auto-orientada voluntária dos grupos de pesquisa se aproxima, na perspectiva de Thiollent, da recomendação de que o essencial da formação de especialistas em IA se faz através de recursos bibliográficos, em especial, de periódicos da área.

Seguem as recomendações normativas diretamente derivadas dos eixos de informação e avaliação explorados em nosso trabalho.

• Muito embora a IA esteja intimamente associada a uma matriz disciplinar relativamente rica e variada, ela exibe peculiaridades que justificam sua identificação como um campo autônomo. Recomendamos que os formuladores de políticas voltadas ao fomento de IA e sua matriz de disciplinas correlatas levem em conta a necessidade de restringir políticas para a própria IA, especificamente. O objetivo dessa recomendação normativa é impedir que uma política de pesquisa em IA esteja sempre a reboque de políticas voltadas para áreas correlatas.

• Muito embora, como regra, a IA mereça uma formulação de políticas específicas, nada impede que ocasionalmente se explore, em políticas formuladas para outras áreas, possíveis implicações que envolvam a IA. Isso é estratégico, porque a IA pode ser fomentada por si própria e também porque oferece subsídios para áreas afins. Recomendamos que se considerem áreas afins não apenas aquelas citadas por Thiollent e sua equipe em suas recomendações, mas também disciplinas do domínio das ciências humanas. Recomendamos, em especial, que políticas de fomento para as áreas de filosofia e psicologia possam prever recursos para a pesquisa em IA pela ótica dessas disciplinas.

• Reciprocamente, recomendamos que sejam incluídos nos elencos temáticos do ensino da IA elementos das tradições da filosofia clássica (predominantemente, teoria do conhecimento e filosofia da mente) e da psicologia da cognição que possam aumentar a *philosophical sharpness* dos pesquisadores da área, em função do fato de que, na comunidade científica internacional, os melhores autores da área de IA revelam uma grande acuidade filosófica.

• Recomendamos que se realize, de modo gradativo, a introdução da IA nos currículos de graduação de cursos em áreas afins, incluindo as já mencionadas disciplinas humanas. Esse movimento visa oferecer um espectro mais amplo de tempo para o desenvolvimento de quadros humanos e idéias relacionados com IA em nosso meio acadêmico. Sugerimos que a introdução de IA no currículo se dê nos últimos três semestres da graduação.

• A perspectiva idiossincrática da qual por vezes se revestem os grupos eventualmente favorece um certo isolamento das equipes, que é agravado pela extensão de nosso território e pela distribuição de células de excelência que obriga os centros a desenvolverem uma forte identidade de grupo. Recomendamos que as políticas de IA se preocupem em promover maior e melhor interação dos centros de pesquisa, quer através do intercâmbio de pesquisadores, quer por meio da ação de sociedades científicas, como foi sugerido por Thiollent e sua equipe.

• Muito embora o estado-da-arte em IA no Brasil esteja relativamente avançado, recomendamos que se mantenha ou, mesmo, se intensifique o fluxo de estudantes e pesquisadores para o exterior, na medida em que ainda não dispomos de uma massa crítica de pesquisadores seniores para a área, e que a auto-orientação, embora uma virtude acadêmica (o sistema de ensino de 4º e 5º graus visam, em parte, criar pesquisadores autônomos), pode mascarar uma carência de recursos formais curriculares para a formação de quadros.

• Finalmente, é necessário preservar as características culturais típicas dos centros de pesquisa em IA, respeitando as peculiaridades contextuais locais desses centros, que embutem procedimentos de continuidade e sobrevivência que se têm mostrado eficazes. Ao mesmo tempo, é necessário obter apoio para elevar o grau de institucionalização desses centros. Esse apoio tem de ser de natureza material e financeira, já que somente uma parte da IA corresponde à pesquisa teórica pura, que prescinde de recursos de informática. O foco central da tradição de pesquisa em IA se desenvolve com o auxílio de equipamentos que os grupos isoladamente, ou mesmo as instituições com as quais se relacionam direta ou indiretamente, não têm condições de adquirir com recursos próprios. Em IA, equipar freqüentemente significa institucionalizar.

Referências bibliográficas

Bloor, D. *Knowledge and social imagery*. London, Routledge and Kegan-Paul, 1976.

———. *Wittgenstein: a social theory of knowledge*. London, Routledge and Kegan-Paul, 1983.

Brown, J. R. (ed.). *Scientific rationality: the sociological turn*. Dordrecht, Reidel, 1984.

Coelho, E. C. *A sinecura acadêmica: a ótica universitária em questão*. São Paulo, Vértice, 1988.

Gardner, H. *The mind's new science: a history of the cognitive revolution*. New York, Basic Books, 1987.

Laudan, L. *Science and relativism: some key-controversies in the philosophy of science*. London, Routledge and Kegan-Paul, 1990.

Silva, W. C. S. *A quase-ciência da ciência: um ensaio crítico sobre o programa forte de David Bloor*. Rio de Janeiro, Iuperj, 1985. (Dissertação de Mestrado.)

———. Considerações filosóficas sobre a representação do conhecimento. *Manuscrito*. Campinas, *15*(2): 65-93, 1992.

Schwartzman, S. *Ciência, universidade e ideologia: a política do conhecimento*. Rio de Janeiro, Zahar, 1981.

Thiollent, M. et alii. *Desenvolvimento da inteligência artificial e da engenharia do conhecimento no Brasil*. 1990. (Relatório Técnico-científico, PADCT/CNPq, Proc. nº 701060-88.3.)

Wilson, B. R. (ed.). *Rationality*. New York, Harper-Row, 1970.

Pesquisa agropecuária

*João Lúcio Azevedo**

1. Introdução

Segundo a classificação elaborada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e utilizada em geral por agências de financiamento à pesquisa e para outras finalidades, são nove as grandes áreas do conhecimento, e uma delas é a das ciências agrárias. Estas se dividem, por sua vez, em agronomia, recursos florestais e engenharia florestal, engenharia agrícola, zootecnia, medicina veterinária, recursos pesqueiros e engenharia da pesca, e ciência e tecnologia de alimentos. É uma classificação artificial, que compreende áreas que visam a exploração direta do solo e outras não diretamente relacionadas, além de apresentar interfaces com outros campos do conhecimento, notadamente as ciências biológicas, fisiológicas, exatas e da terra, além das ciências sociais aplicadas, especialmente a economia. É grande a importância dessa área do ponto de vista econômico e social para o Brasil, devido à grande área territorial do país e ao enorme potencial de sua agricultura e pecuária. Seu produto interno bruto é dependente da agropecuária, dentro e fora das porteiras de suas propriedades agrícolas. Estima-se que praticamente 40% do produto interno bruto brasileiro advenham das atividades da agropecuária e do *agribusiness*, ou seja, dos negócios da agricultura.

Dessa forma, o investimento na pesquisa em ciências agrárias deveria corresponder a quase metade de todo o investimento realizado em ciência e tecnologia no país, o que está muito longe de ocorrer. Os investimentos na grande área de ciências agrárias deveriam corresponder a um valor ainda mais elevado, tendo em vista sua importância cada vez maior, considerando-se o constante aumento da população em países do Terceiro Mundo, como é o caso do Brasil, cuja população continua, em grande parte, carente de alimentos. É preciso considerar, também, a diminuição constante da mão-de-obra rural, que hoje é estimada em 1/10 da população mundial, e que deve ser reduzida a 1/20 quando a população atingir o dobro da atual. Tendo em vista sua área territorial, é de se esperar que o Brasil venha a ter um papel ainda mais importante como fonte de alimentos, requerendo um aumento de produtividade em níveis bem maiores que os atuais. Para que esse objetivo seja atingido, será necessário incrementar muito as pesquisas na área de ciências

* Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Esalq/USP.

agrárias, bem como esforços para a multiplicação de recursos humanos, sem os quais grandes programas e pesquisas, tanto integrando vários grupos quanto no âmbito de pequenos grupos e pesquisas individuais, não poderão ser desenvolvidos a contento.

A evolução das pesquisas em ciências agrárias no Brasil sempre acompanhou *pari passu* o desenvolvimento do ensino agrícola. Em conseqüência, é através do histórico de nossos recursos humanos em ciências agrárias e do desenvolvimento das atividades de pesquisa que a área poderá ser mais bem entendida, estabelecendo-se os critérios para que seu desenvolvimento harmônico resulte em uma pesquisa competitiva, bem fundamentada e voltada às reais necessidades de nosso país. É preciso não esquecer que, ao contrário do que ocorre freqüentemente em outras áreas do conhecimento, a agropecuária tem facetas regionais, em que produtos, processos, clima, solo e outras variáveis não permitem uma pura e simples transferência de tecnologia de regiões de agricultura mais desenvolvida, especialmente quando localizadas em climas temperados, para regiões tropicais e subtropicais.

2. O ensino das ciências agrárias e o desenvolvimento das atividades de pesquisa no Brasil

O ensino de práticas agrícolas mereceu a atenção de educadores brasileiros já no século XVIII, com a criação de academias que incluíam os estudos de agricultura. O surgimento dos hortos reais foi um passo decisivo para a criação e implantação do ensino agrícola superior no Brasil. Em 1877 foi implantado o primeiro curso superior de ciências agrárias em nosso país, ministrado na Escola Superior de Agricultura de São Bento das Lajes, na Bahia. Em 1891 foram iniciadas as atividades de ensino na Escola Superior de Agricultura Eliseu Maciel, em Pelotas, Rio Grande do Sul; em 1901, na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), em Piracicaba, São Paulo; e, em 1908, na Escola Superior de Agricultura de Lavras (Esal), Minas Gerais. Em 1910, criou-se a primeira escola superior de medicina veterinária no país, a da atual Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Até 1929, já existiam 20 escolas de agricultura e veterinária no Brasil.

A partir da década de 60, proliferaram os cursos de agronomia e medicina veterinária, ao mesmo tempo em que se diversificavam, passando a incluir os cursos de engenharia florestal, zootecnia e engenharia agrícola. Em 1981, já existiam 39 cursos de agronomia, 26 de medicina veterinária, 12 de engenharia florestal, 12 de zootecnia e oito de engenharia agrícola e, em 1990, existiam 53 cursos de agronomia, 32 de medicina veterinária, 15 de engenharia florestal, 16 de zootecnia e oito de engenharia agrícola. A partir dos anos 60 surgiram os cursos de pós-graduação, inicialmente em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, e depois de mestrado e doutorado na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, na Universidade de São Paulo, em Piracicaba.

Outras duas áreas incluídas nas ciências agrárias, a engenharia de alimentos e a engenharia de pesca, não são essencialmente agrárias, pois não se dedicam diretamente à exploração da terra, embora indiretamente tenham-se originado em todo ou em parte das ciências agrárias, especialmente a ciência e tecnologia de alimentos e a aqüicultura.

No início da década de 90, existiam no Brasil cerca de 50 mil estudantes de graduação na grande área de ciências agrárias. Esses cursos apresentam uma grande heterogeneidade, e alguns ainda estão em fase de consolidação. Já os cursos de pós-graduação estão, em grande parte, localizados nas regiões Sudeste e Sul do país e estão, em geral, mais bem estruturados. A tabela 1 apresenta o número de cursos de graduação em ciências agrárias existentes até o momento no Brasil, e a tabela 2, o número de cursos de pós-graduação existentes no Brasil, também em ciências agrárias. Quase que paralelamente ao desenvolvimento das atividades na formação de recursos humanos em ciências agrárias, começaram a se desenvolver, no Brasil, atividades de pesquisa. Uma das instituições pioneiras foi o Instituto Agronômico de Campinas, no estado de São Paulo, originário da Estação Agronômica de Campinas, criada em 1887. Entretanto, durante um bom tempo as pesquisas agronômicas no Brasil foram realizadas principalmente nas escolas de agronomia, que tiveram e ainda continuam a ter um papel fundamental no desenvolvimento de pesquisas nos mais diversos ramos da agricultura e pecuária, além de apresentarem uma forte interação com a área de ciências biológicas, incluindo aí pesquisas em botânica, zoologia, genética e ecologia.

Tabela 1
Número de cursos de graduação no Brasil em ciências agrárias, 1989

Região	Agronomia	Veterinária	Zootecnia	Engenharia florestal	Engenharia agrícola	Total
Norte	3	1	0	3	0	7
Nordeste	11	6	4	2	1	24
Centro-Oeste	7	3	1	2	0	13
Sudeste	18	14	8	6	4	50
Sul	14	8	3	2	3	30
Total	53	32	16	15	8	124

Fonte: Associação Brasileira de Ensino Agrícola Superior (1989).

Tabela 2
Número de cursos de pós-graduação, por regiões brasileiras, na grande área de ciências agrárias

Região	Agronomia		Veterinária		Zootecnia[1]		Eng. Florestal		Eng. Agrícola		Outros[2]		Total	
	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.
Norte	2	–	–	–	–	–	2	–	–	–	1	–	5	–
Nordeste	7	–	2	–	3	–	–	–	2	–	2	–	16	–
Centro-Oeste	2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	1
Sudeste	36	17	15	7	9	2	2	1	6	3	12	6	80	36
Sul	8	3	4	0	4	1	2	1	1	–	4	1	23	6
Total mestrado	55		21		16		6		9		19		126	
Total doutor.		21		7		3		2		3		7		43
Total geral														169

Fonte: Capes (1993).
[1] Inclui dois cursos de aqüicultura.
[2] Inclui cursos de ciências exatas aplicadas à agricultura e de alimentos.

Entre 1940 e 1960 foram criados também institutos estaduais de pesquisa, vinculados às secretarias de agricultura estaduais e ao próprio Ministério da Agricultura. Em alguns poucos casos, a iniciativa privada também organizou centros de pesquisa, baseados em produtos e processos específicos para determinadas culturas, como é o caso da Copersucar com a cana-de-açúcar (Malavolta, 1986). De 1927 até 1977 a pesquisa em ciências agrárias atingiu praticamente todos os produtos agrícolas importantes, embora com intensidades diversas e com falta de homogeneidade nas diferentes regiões brasileiras. Ainda assim, é forte a correlação entre o volume de pesquisa em diferentes culturas e os ganhos de produtividade obtidos (Silva et alii, 1979).

Além das escolas de agronomia e veterinária e do Instituto Agronômico de Campinas, foram criados outros centros com enfoque em ciências agrárias, como o Instituto Biológico, em São Paulo, em 1927, inicialmente voltado para estudar uma praga de enorme importância na época, a broca do café. Em seguida, o Instituto Biológico dedicou-se a muitas outras pesquisas, resolvendo importantes pro-

blemas nas áreas de patologia animal e vegetal, incluindo o controle de pragas de outras culturas além das do cafeeiro. O Instituto de Zootecnia, criado também no estado de São Paulo em 1905, desenvolveu até hoje pesquisas em nutrição animal, reprodução e melhoramento animal, manejo de pastagens etc. Institutos e empresas mais recentes são o Instituto Agronômico do Paraná (Iapar) e a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa), criados em 1972 e 1973, respectivamente. A Embrapa foi uma continuação em maior escala da rede de institutos do Ministério da Agricultura e é hoje a maior empresa de pesquisas em ciências agrárias do Terceiro Mundo, com centros de pesquisa em praticamente todos os estados do Brasil, baseados principalmente em produtos (soja, feijão e arroz, fruteiras de clima temperado ou tropical etc.) ou regiões (Cerrado, Amazônia etc.).

A estrutura de ensino e pesquisa tem gerado produtos e processos que contribuíram substancialmente para o aumento da produtividade e geração de novas tecnologias adaptadas a diferentes regiões. Entretanto, ela é ainda insuficiente para que o país possa ser considerado detentor de altas produtividades e de uma agricultura e uma pecuária avançadas, salvo em alguns produtos. As instituições envolvidas na pesquisa em ciências agrárias têm, em geral, dado retorno superior aos investimentos recebidos. Apenas para ilustrar essa afirmativa, vale citar alguns poucos exemplos dos muitos relacionados por Malavolta (1986): substituição de variedades de cana-de-açúcar suscetíveis ao mosaico por variedades resistentes (Esalq/USP), identificação e controle do carvão da cana-de-açúcar (Esalq/USP), produção de variedades e de híbridos de milho e de hortaliças, usados em grande escala pelos agricultores e consumidos pela população brasileira (Esalq/USP), aplicação da energia nuclear na preservação de alimentos e de grãos (Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP, em Piracicaba), elevação da produtividade de florestas em 100% no período de 10 anos (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e Esalq/USP), novas variedades de feijão e de soja (Universidade Federal de Viçosa), uso e manejo racional do cerrado (Esal, Esalq/USP e Embrapa), variedades melhoradas de trigo e arroz (Escola de Agronomia Eliseu Maciel, em Pelotas, e Embrapa), novas variedades e híbridos de milho, café, soja, feijão e muitas outras (Instituto Agronômico de Campinas), controle biológico de pragas da soja (Embrapa), desenvolvimento de novos equipamentos agrícolas, sistemas de irrigação e biogás (Embrapa).

Segue-se uma descrição mais detalhada sobre o desenvolvimento das pesquisas em cada área e subárea das ciências agrárias, sua importância e perspectivas.

3. Área de agronomia

A agronomia costuma ser definida como a ciência relacionada com as plantas cultivadas. Incluem-se na agronomia as subáreas de fitotecnia, ciência do solo, fitossanidade e extensão rural. Como em praticamente todas as outras áreas

e subáreas das ciências agrárias, a pesquisa no Brasil é desenvolvida principalmente em institutos de ensino superior (no caso, escolas de agronomia), em institutos estaduais de pesquisa na Embrapa e, em menor escala, em empresas privadas. Existem aproximadamente 5 mil pesquisadores nessa área, dos quais cerca de 1.600 na Embrapa, 800 nas escolas de agronomia e nos demais institutos estaduais de pesquisa e empresas privadas. Dos 5 mil pesquisadores, cerca de 2/3 têm título de mestre (2.200) ou doutor (1.100).

Fitotecnia

Essa área cobre os estudos com as plantas cultivadas, e seu objetivo principal é o aumento do rendimento, obtido pelo emprego de cultivares superiores, técnicas adequadas de cultivo, métodos racionais de colheita, utilização racional de insumos, conservação dos produtos e tecnologia de sementes. Mais recentemente tem-se dado ênfase à utilização racional de técnicas, de modo a obter uma alta produtividade sem prejuízo do meio ambiente. Com destaque para pesquisas em arroz, café, feijão, milho, soja, trigo, hortaliças e fruteiras de clima tropical e temperado. A dificuldade em expandir as fronteiras agrícolas, não só no Brasil como em todo o mundo, com vistas a reduzir o déficit entre o crescimento da demanda por alimentos e fibras, tem conduzido ao estímulo do crescimento da produtividade nas plantas cultivadas. A baixa produtividade, que caracteriza a maior parte culturas agrícolas no Brasil, justifica a importância da subárea de fitotecnia e o maciço investimento feito nela. Essa opção fica ainda mais evidente quando se sabe que a transferência de tecnologia de países avançados na área de agricultura para outros países menos desenvolvidos tem, na grande maioria dos casos, fracassado, em virtude das diferentes condições de solo, clima, sistemas de produção e fotoperiodismo. No Brasil, uma considerável parte da população sofre de carência alimentar. O consumo de proteínas vem caindo constantemente; já foi de 87g/dia por habitante e, hoje, está na faixa dos 70g/dia. Em nosso país, a área cultivada não se expande acentuadamente há 10 anos. Tudo leva a crer, portanto, que o aumento de produtividade seja a solução, não apenas para suprir as necessidades de alimento do povo brasileiro como também para preservar as condições ambientais, inclusive com redução de desmatamentos, especialmente na região amazônica. A tudo isso deve ser acrescentada a vocação agrícola do país, que pode atuar como um ativo exportador de produtos agropecuários para o resto do mundo.

Fitossanidade

Esta subárea forma praticamente um bloco único, sendo de importância capital para as condições do Brasil, que, localizado em grande parte em região de clima tropical, sofre enormes perdas com doenças e pragas da agricultura. Estimativas conservadoras indicam que cerca de 50% dos alimentos produzidos são

consumidos pelas pestes da agricultura. Por isso, o Brasil é um dos principais consumidores de agroquímicos, suplantado somente por países como os EUA, o Japão e pela Europa Ocidental (Ruegger, 1993). Até recentemente as pesquisas de fitossanidade no Brasil eram compatíveis com as realizadas nos países desenvolvidos. Atualmente,porém, tem havido um descompasso, devido, entre outras causas, à introdução de técnicas de biologia molecular e de tecnologia do DNA recombinante, que requerem equipamentos sofisticados e recursos que os laboratórios brasileiros, principalmente nas universidades federais e institutos estaduais de pesquisa, não têm conseguido obter. Por outro lado, têm sido feitas pesquisas sobre o emprego do controle biológico das pragas por predadores, parasitas e patógenos, com o objetivo de reduzir o uso de agroquímicos em grandes áreas cultivadas no Brasil, em função da conscientização crescente da necessidade de preservação do meio ambiente.

Fica difícil estimar com precisão qual é o potencial humano em pesquisa na área de fitossanidade, em comparação com as outras subáreas da agronomia. Fitotecnia, fitossanidade e ciência do solo são subáreas imbricadas e, muitas vezes, um mesmo pesquisador pode atuar em duas ou mais delas. No entanto, pode-se aquilatar o poder da área comparada com as outras pela atuação marcante das sociedades científicas de fitopatologia e entomologia brasileiras. Várias sociedades científicas do Brasil abrigam virologistas, nematologistas, fitopatologistas e entomologistas. Há uma forte interface entre as ciências agrárias e as ciências biológicas, no que se refere à resolução dos problemas de combate a pestes que assolam a agricultura. O estudo do efeito de pesticidas agrícolas sobre o ambiente, a pesquisa em produtos naturais potencialmente utilizáveis no combate a pestes e plantas invasoras, estudos de formulações, técnicas e equipamentos de aplicação visando a maior eficiência dos produtos e a redução dos riscos de contaminação são alguns dos objetivos das pesquisas na subárea. Vários centros da Embrapa, especialmente o Centro Nacional de Pesquisa de Defesa da Agricultura, localizado em Jaguariúna, São Paulo, as escolas de engenharia agronômica e alguns dos institutos estaduais de pesquisa têm-se dedicado à resolução desses problemas. A fitossanidade e a fitotecnia têm andado juntas para resolver problemas relacionados ao controle de doenças e pragas de vegetais, pela criação de variedades, linhagens e híbridos resistentes, obtidos por melhoramento genético. Também pesquisas em práticas culturais e diversos sistemas de manejo têm auxiliado a efetiva diminuição dos prejuízos causados.

Ciência do solo

É também uma área extremamente abrangente, iniciando-se com os processos de formação e terminando com a utilização agrícola, passando pela física, química e biologia do solo, além da sua fertilidade (Malavolta, 1987). Os estudos sobre o solo compreendem a edafologia, que é a ciência que estuda as relações entre o solo e a planta, além da nutrição, adubos e adubação, microbiologia do

solo e trabalhos de calagem, salinidade etc. Como nas outras subáreas, os estudos do ponto de vista agronômico visam ao aumento de produção por ganhos na produtividade.

Segundo Malavolta (1987), o acúmulo de conhecimentos derivados de pesquisas em ciência do solo no Brasil começou, efetivamente, a partir da década de 50, principalmente devido ao treinamento de pessoal especializado, à instalação do regime de dedicação exclusiva à pesquisa nas universidades e à multiplicação dos recursos humanos, além da cooperação de entidades estrangeiras, com a introdução de novas técnicas e metodologias como o uso de isótopos e informática. Surgiu, então, uma grande quantidade de trabalhos no campo de química dos solos, concentrados em macro e micronutrientes. O fósforo é o elemento mais estudado, seguindo-se os estudos sobre o potássio e os micronutrientes. O Brasil tem-se destacado nas pesquisas sobre microbiologia do solo, particularmente em relação à fixação biológica do nitrogênio atmosférico e, mais recentemente, em estudos sobre fungos micorrízicos. A contribuição dos estudos feitos no Brasil sobre a fixação do nitrogênio por bactérias não-simbióticas tem repercussão mundial. Também os estudos sobre a fixação biológica de nitrogênio, proveniente do isolamento e seleção de linhagens de bactérias do gênero *Rhizobium*, resultaram em grandes progressos para a cultura de soja no Sul do país.

A maioria dos pesquisadores dessa subárea está concentrada em estudos sobre adubos e adubação, com bom número de trabalhos publicados. Os estudos sobre nutrição mineral das plantas também têm posição de destaque no país, bem como os sobre erosão e modos de evitá-la. A Embrapa mantém dois programas nacionais de pesquisa, o primeiro relacionado com a biologia do solo e o segundo com sua conservação. O de biologia do solo atende culturas de grande interesse econômico, como feijão, soja, cereais e gramíneas (como a cana-de-açúcar), com o objetivo de estabelecer uma agricultura produtiva e não-prejudicial ao ambiente. Os trabalhos nesse programa envolvem bactérias simbiontes e não-simbiontes; técnicas modernas de biologia molecular têm sido introduzidas para auxiliar as metodologias clássicas. O programa de conservação do solo estuda problemas como erosão hídrica e eólica, degradação das propriedades do solo, mecanização agrícola e uso da terra. Conta com 150 pesquisadores em 22 unidades de pesquisa espalhadas pelo país, embora os projetos se concentrem mais na região Sudeste (50%). São desenvolvidos projetos de pesquisa relacionados a perdas de água no solo, microbacias, fertilidade do solo, monitoramento ambiental, sistemas de manejo e cobertura do solo, entre outros.

Extensão rural

Entre as quatro subáreas da agronomia, esta é a menos desenvolvida. Não obstante, é de grande importância para o país, na transferência da tecnologia gerada em laboratórios e estações experimentais de pesquisa para o agricultor. Existem na subárea dois cursos de pós-graduação em nível de mestrado (Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, e Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul). Embora existam serviços de extensão em vários estados brasileiros, o grande sistema é o Sibrater (Sistema Brasileiro de Assistência Técnica e Extensão Rural), criado em 1990 em substituição à Embrater e que, atualmente, é coordenado pela Embrapa. Seus objetivos são os de transferir tecnologia, aumentar a articulação entre as instituições geradoras de tecnologia e as transferidoras, e pesquisar, através de programas, os processos de transferência de tecnologia, com base na realidade da demanda dos produtores e nas características regionais. Estão sendo implantados os sistemas de informações gerenciais para pesquisa/extensão que visam capacitar cerca de três dezenas de técnicos em gestão de qualidade total, uma centena em gestão para mudanças e bibliotecárias no uso do *software* de documentação, além de manter pelo menos 70 extensionistas com treinamento no nível de mestrado. A formação e a capacitação na subárea têm sido objeto de vários seminários e estudos, não só no Brasil como em toda a América Latina (FAO, 1987; 1988a; 1988b).

As pesquisas nas principais plantas cultivadas

Não é finalidade, nem seria possível apresentar aqui um estudo detalhado do desenvolvimento das pesquisas em cada uma das culturas exploradas economicamente no Brasil. Uma síntese de todos os programas nacionais, coordenados pela Embrapa, pode ser encontrada em uma publicação da empresa (Pronapa, 1993), e em publicações de cadastros de pesquisa disponíveis nas diferentes instituições de ensino e pesquisa na área de ciências agrárias no Brasil, como o cadastro de pesquisas em andamento na Esalq/USP (1992), os da Unesp, de Botucatu (1992a; 1992b), o da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1992) e os próprios relatórios anuais das agências de financiamento estaduais e federais de pesquisa, destacando-se o da Fapesp (1991).

Com base nessas publicações, fica claro que certas culturas concentram um maior número de pesquisas que outras. Revelam também o caráter fortemente regional de certas culturas e, conseqüentemente, das pesquisas envolvidas, além de demonstrarem que nem sempre culturas de maior valor econômico são priorizadas, indicando o caráter casuístico e não-dirigido das pesquisas no Brasil em relação às prioridades nacionais. A cultura da cana-de-açúcar, por exemplo, sofreu forte impacto negativo em suas pesquisas em virtude da extinção do Planalsucar, órgão governamental encarregado do assunto até 1990 e que gerou variedades e sistemas extremamente úteis para o progresso da cultura da cana-de-açúcar no país. Embora os estudos continuem sendo feitos em escolas de agronomia, especialmente a Esalq/USP, eles não têm uma programação definida, nem a integração desejada para solucionar prontamente os problemas que vão surgindo. O mesmo ocorre com culturas como a do café, cuja pesquisa está praticamente concentrada em instituições estaduais que vêm passando por uma crise de recursos humanos e equipamentos. Além do mais, nem todas as culturas têm pesquisas

em número compatível com sua importância econômica atual ou potencial, como é o caso de certas fruteiras de clima tropical e hortaliças.

Estado-da-arte e perspectivas na área de agronomia

A avaliação de trabalhos publicados no Brasil e exterior nessa área revela uma certa semelhança quanto aos objetivos a serem atingidos. Entretanto, a pesquisa brasileira na área vem acumulando uma defasagem devido a dois fatores principais:

• introdução de novas tecnologias, principalmente as oriundas da tecnologia do DNA recombinante e biologia molecular, que não vêm sendo absorvidas na velocidade apropriada; existe um esforço no treinamento de pessoal nessas tecnologias, com o envio de pesquisadores ao exterior, e novos centros vêm sendo implantados no país, porém de maneira casuística e de forma errática; entretanto, embora lentamente, as novas tecnologias vêm sendo aos poucos implantadas em laboratórios e utilizadas por grupos tradicionais na área de fitotecnia e de forma menos evidente, em fitossanidade;

• sucateamento de equipamentos e sua não-reposição, em virtude das condições precárias por que passam as instituições de financiamento à pesquisa no país no âmbito federal. Isto está ampliando a distância que separa os pesquisadores de centros mais avançados do exterior, em relação aos do Brasil. O retorno do pessoal treinado em novas tecnologias no exterior está sendo frustrante em virtude das condições encontradas, com falta de equipamento e de insumos, agravadas pelas dificuldades de contratação e baixos salários nas universidades.

O grande desafio dos próximos anos vai ser a criação de tecnologias que aumentem a produtividade agrícola sem causar degradação do meio ambiente, conferindo ao país autonomia e uma posição privilegiada na área, além de uma liderança em relação a outros países localizados em regiões tropicais e subtropicais. O resultado deve ser o aumento de produtividade, a conservação do ambiente e da biodiversidade e a conseqüente melhoria na qualidade de vida do brasileiro. De acordo com relatório do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq (1992a), para serem atingidas essas metas requerem a adoção de medidas que incluem treinamento de pessoal tanto no Brasil quanto no exterior, em áreas carentes, além da renovação de equipamentos, de facilidades de aquisição de insumos para pesquisas e de salários condizentes. As instituições de pesquisa devem também se empenhar na otimização do material humano disponível, nem sempre de boa qualidade. A redução dos quadros de pesquisadores pela eliminação de ociosos e contratação de pessoal qualificado e potencialmente produtivo é uma medida que tem de ser tomada a curto prazo, para que haja uma

valorização dos esforços despendidos por boa parte dos pesquisadores na maioria das instituições. Na pesquisa aplicada é necessário um direcionamento, para que objetivos de real valor para a agricultura brasileira possam ser atingidos a curto e médio prazos. Recentes avanços como o da fruticultura de clima temperado e subtropical, elevação da produtividade em cana-de-açúcar e introdução de culturas vegetais em regiões antes não apropriadas, como é o caso de várias culturas hoje existentes no cerrado, são exemplos de que programas bem definidos podem atingir os resultados esperados.

O maior gargalo são as condições de infra-estrutura e apoio para a pesquisa. A Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e o CNPq praticamente suspenderam o auxílio à pesquisa a partir de 1991. Os baixos salários tornam pouco atraente a entrada de pesquisadores competentes nas instituições de ensino e pesquisa do país. Gera-se, assim, um círculo vicioso, onde a ineficiência resulta em baixos salários e vice-versa. O simples treinamento de pessoal torna-se ineficaz, devido às precárias condições encontradas após o treinamento e regresso ao local de trabalho. Apesar desses fatores negativos, algumas medidas preconizadas pelo CNPq (1992a), além de outras decorrentes da própria situação da grande área descrita neste trabalho, podem ser tomadas, como:

• ampliar a formação de pessoal, priorizando as bolsas de iniciação científica e treinamento de pesquisadores e docentes no exterior, por meio de bolsas-sanduíche, com duração de cerca de um ano, mais eficientes e menos dispendiosas para o país;

• priorizar projetos integrados envolvendo pesquisadores de diferentes instituições, em tópicos de interesse para a agricultura nacional;

• desenvolver bases sólidas, introduzindo novas tecnologias que deverão ou substituir ou ser acrescentadas às técnicas clássicas, e permitir uma integração sadia de pesquisadores com domínio em uma ou outra tecnologia;

• estabelecer centros de excelência, oferecendo condições de trabalho apropriadas aos seus pesquisadores; esses centros funcionariam como verdadeiros pólos de difusão de conhecimentos e treinamento de pessoal de centros menos desenvolvidos ou emergentes;

• buscar priorizar estudos de culturas de importância econômica para o país e de novos produtos e processos, característicos de regiões tropicais e subtropicais, e que poderiam ser mais bem utilizados não só no Brasil, como estendidos a outros países.

4. Área de engenharia florestal

A importância dessa área das ciências agrárias fica clara quando se considera que, só na região amazônica, o Brasil concentra 30% da reserva mundial de florestas tropicais densas, com um potencial madeireiro de 16 bilhões de metros cúbicos. Através de exportações, o Brasil aufere uma receita de US$2,5 bilhões anuais, com destaque para celulose e papel. Para atender às necessidades de produção de celulose, papel e carvão vegetal, são reflorestados 250.000ha anualmente no Brasil. Apesar de tudo, apenas 24% das necessidades madeireiras do país são supridas pelo reflorestamento; o restante provém da depredação anual de cerca de 3 milhões de hectares de florestas nativas. Somando-se a tudo isso a importância que as florestas desempenham na conservação do solo, na qualidade da água e no bem-estar em geral, pode-se aquilatar a necessidade de manter um elevado nível de pesquisas em engenharia florestal. O Brasil tem cerca de 20 grupos ativos na pesquisa em engenharia florestal. No que se refere à formação de recursos humanos, são 15 os cursos de graduação, o primeiro deles implantado em Minas Gerais e transferido para a Universidade Federal do Paraná, que formou seus primeiros engenheiros florestais em 1964. Há cursos em todas as regiões do país, como sempre com predominância do Sudeste. No entanto, apesar da disponibilidade de 680 vagas nesses cursos, formam-se apenas cerca de 150 engenheiros florestais anualmente, devido à pequena demanda de alunos e ao bom número de desistências. Do ponto de vista quantitativo, a situação é boa e a qualidade dos formandos varia com os cursos de origem. Na pós-graduação, são seis cursos de mestrado e dois de doutorado, mostrando que a área é bem menos suprida que a de agronomia, o que, aliás, seria de se esperar, considerando-se que o ensino em ciências florestais é ainda recente no Brasil e que é uma área bem mais limitada que a da agronomia.

O desenvolvimento das pesquisas em engenharia florestal

Os grupos de pesquisadores em engenharia florestal em geral estão localizados em instituições de ensino superior que mantêm cursos de pós-graduação, na Embrapa — no Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, em Curitiba e, em menor escala, em outros de seus centros como o agroflorestal do Amapá e da Amazônia —, em algumas poucas instituições estaduais de pesquisa e em empresas privadas. Só na Embrapa existem cerca de 60 pesquisadores nessa área, estimando-se um total de 200 no Brasil.

Segundo relatório do CNPq (1992d), a área de engenharia florestal no Brasil tem tido progressos consideráveis, especialmente na formação, condição e aproveitamento de florestas de rápido crescimento para atender à demanda de madeira, produção de papel e celulose, carvão para a siderurgia e produção de chapas e aglomerados.

Em relação ao conhecimento de espécies florestais nativas, o avanço tem sido lento, em virtude da pequena força de trabalho na área. O Centro Nacional de Pesquisas de Floresta da Embrapa em Curitiba dedica-se à produção de sementes melhoradas de eucalipto, controle biológico de insetos-pragas de eucaliptos, técnicas de produção de mudas de várias essências florestais, principalmente a imbuia, erva-mate, bracatinga, acácia-negra, guapuruvu, eucaliptos e *Pinus*. Técnicas de coleta, beneficiamento, armazenamento e germinação de sementes de várias espécies têm sido pesquisadas. O Centro Agroflorestal do Amapá tem procurado aproveitar áreas degradadas com *Sclerolobium paniculatum*, espécie florestal para madeira e carvão; o Centro Agroflorestal de Roraima apresentou recomendações para recuperação de áreas desmatadas e o Centro Agroflorestal da Amazônia (Cpatu, Belém, PA) desenvolve técnicas de manejo e exploração de florestas nativas com rendimento auto-sustentado, permitindo a conservação dos ecossistemas e com a economicidade de empreendimentos florestais.

De grande importância para a área e empreendimento pioneiro no Brasil é a associação de empresas com universidades e instituições de pesquisa. O Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef) foi criado há 25 anos na Esalq/USP, em Piracicaba, reunindo cinco empresas privadas (Champion, Duratex, Rigesa, Ind. Papel Léon Feffer e Madeirit) para resolver problemas na área. Hoje, conta com 23 empresas associadas, e os resultados obtidos têm sido surpreendentemente bons. Basta citar que a média de produtividade, que estava na faixa de $15m^3$/ha/ano, aumentou para $30m^3$/ha/ano nas empresas associadas ao Ipef. Esse instituto contribuiu, através de pesquisas básicas e formação e treinamento de pessoal para atuação nas empresas, com esse aumento de produtividade. Seu centro de sementes, reconhecido pela FAO, é o maior do hemisfério sul em material genético, com comercialização de 3t de sementes por ano, exportadas inclusive para a Indonésia, a Venezuela e a Tailândia. Suas empresas associadas localizam-se na Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Ipef, 1993). A iniciativa foi seguida por outras instituições. Atualmente, além do Ipef, surgiram duas outras instituições similares, o Fundo de Pesquisas Florestais (Fupef), em Curitiba, PR, e a Sociedade de Investimentos Florestais (SIF), em Viçosa, MG. Além dos institutos estaduais de pesquisa, como o Instituto Florestal de São Paulo, que comercializa 23t de sementes anualmente, as escolas de agronomia também desenvolvem pesquisas, especialmente em *Pinus*, eucaliptos, outras essências florestais, reflorestamento, celulose, papel etc.

À semelhança do que ocorre na área de agronomia, a Embrapa coordena também uma pesquisa integrada, o Programa Nacional de Pesquisas em Florestas, que reúne 138 projetos em andamento (Pronapa, 1993). Os objetivos gerais do programa são:

• o desenvolvimento de sistemas de produção para florestas, com aumento de produtividade e qualidade da madeira, e redução dos custos de exploração, transporte e processamento de matérias-primas florestais, com aumento de eficiência;

• desenvolvimento de sistemas que possibilitem o manejo racional de florestas, visando utilizá-las de forma sustentada e conservando a biodiversidade dos ecossistemas;

• desenvolvimento de sistemas agroflorestais, objetivando a otimização do uso da terra em regiões pouco desenvolvidas e de equilíbrio ambiental precário, e a obtenção integrada de alimentos, madeiras e outros produtos florestais.

O programa é responsável por 35% da pesquisa florestal realizada no país, e conta com 93 pesquisadores envolvidos nos projetos em andamento. Os resultados de maior relevância foram o aumento de produtividade em *Eucalyptus grandis*, com redução de 33% no custo da madeira e o aumento da produtividade em *Pinus* temperados na região sul, com redução de 28% do custo da madeira em pé. As linhas de pesquisa priorizadas foram o melhoramento e conservação genética vegetal, a silvicultura e manejos florestais e a agrossilvicultura. Mais recentemente, algumas instituições têm dado ênfase ao uso de modernas biotecnologias, especialmente a análise direta do DNA.

Estado-da-arte e perspectivas da engenharia florestal

A engenharia florestal está consolidada mundialmente. Ela teve origem na Alemanha, em meados do século passado, difundiu-se pela Europa, Ásia e África, e atingiu o continente americano via EUA, Canadá e alguns países da América Latina (CNPq, 1992d). No Brasil, a engenharia florestal é uma atividade recente e os cursos de graduação só foram implantados há cerca de 30 anos. O Brasil encontra-se em posição de destaque com relação aos países em desenvolvimento, mesmo com relação aos mais desenvolvidos, e tem boa eficiência, graças às suas excelentes condições climáticas. Um exemplo dessa vantagem é o curto tempo, de apenas sete anos, para explorar economicamente uma floresta de eucalipto, enquanto, no Canadá, as melhores essências florestais levam 70 anos para se tornar economicamente viáveis.

Entretanto, a exemplo de outras áreas, a engenharia florestal no Brasil carece de uma infra-estrutura adequada para melhor desempenho. Os maiores gargalos são a falta de recursos para equipamentos e para contratação de maior número de pesquisadores efetivamente envolvidos na resolução de problemas florestais, a dificuldade de transferência da tecnologia gerada para o setor produtivo e, como sempre, a falta de um planejamento mais adequado, regional e nacional, para atender às prioridades da área. A integração universidade/setor privado vem-se tornando cada vez mais forte, graças à criação do Ipef, da SIF e do Fupef.

As principais ações recomendadas pelo CNPq para o desenvolvimento da área são a formação de recursos humanos no exterior, para atender a uma demanda de 30 solicitações anuais, o incremento de bolsas de iniciação científica e de aperfeiçoamento e o incremento de recursos para o financiamento a pesquisas de bom nível. Também foi recomendado o apoio a programas integrados financiados por agências de fomento à pesquisa, sempre que técnicas avançadas possam ser introduzidas lado a lado com as técnicas tradicionais. As áreas de pesquisa a serem priorizadas são as ambientais, visando a proteção e manutenção do equilíbrio biológico, com pessoal atuante nas áreas de ecologia, avaliação de alterações do ambiente, agrossilvicultura e controle biológico de pragas, além do apoio à moderna biotecnologia, especialmente nos programas de melhoramento genético.

5. Áreas de zootecnia, medicina veterinária e aqüicultura

Pela sua grande extensão territorial e condições de clima e topografia, o Brasil é um país privilegiado para o desenvolvimento da pecuária. Há um imenso potencial de produção de carne e leite em regime de pasto, explorando as dimensões continentais do país, disponibilidade de solo, água e energia solar (Aciesp & Secretaria de Cultura, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 1978b).

Entretanto, a eficiência biológica e econômica da produção animal no Brasil está aquém da desejada. Na bovinocultura, os dados atuais só são comparáveis com os de países de alta tecnologia no final do século passado, sinalizando uma defasagem de 90 anos. O leite é de qualidade inferior, o potencial genético é baixo, o abate de animais e o início da vida reprodutiva são tardios, e o desfrute de rebanhos é baixo. O mesmo ocorre com outros rebanhos, com exceção dos suínos no Sul e Sudeste do país e de aves, em que a introdução de material genético superior para ovos e carne e alta tecnologia na alimentação, sanidade, instalação e manejo tornam a avicultura competitiva com a do exterior (Packer, 1987). A expansão dos rebanhos é limitada e a alternativa mais viável é o aumento de produtividade, pelo emprego de sistemas de produção mais eficientes. Além disso, doenças causadas por agentes infecciosos e parasitários concorrem para quebras de produtividade onde as condições climáticas favorecem a sua proliferação, como é o caso do Brasil.

Todos esses fatores justificam um incremento da pesquisa. Nesse particular, as áreas das ciências agrárias envolvidas são a medicina veterinária, zootecnia e engenharia de pesca/aqüicultura. São três áreas com características próprias, mas tão imbricadas que fica difícil analisá-las em separado.

A medicina veterinária tem como objetivo o aumento da produtividade animal, pelo estudo e controle de zoonoses e controle sanitário dos alimentos de origem animal. Incluem-se aí várias subáreas como a clínica e cirurgia veterinárias, medicina veterinária preventiva, patologia animal e inspeção de produtos de origem animal. Essas subáreas são extremamente correlacionadas com as de zootec-

nia, como nutrição animal, manejo e melhoramento animal. É também estreito o relacionamento com as áreas de alimentos e saúde humana, biológica e fisiológica (CNPq, 1992e).

A zootecnia, por sua vez, trata do estudo da criação e aperfeiçoamento de animais domésticos, visando a maior oferta de produtos de origem animal. Suas subáreas incluem o melhoramento genético, pastagens e forragicultura, nutrição e alimentação animal, ecologia dos animais domésticos, etologia, e produção e manejo de animais domésticos. Também nesse caso, há um íntimo relacionamento com outras áreas das ciências agrárias, em especial a medicina veterinária, agronomia (fitotecnia, sanidade vegetal e ciências do solo), ciências biológicas (botânica), alimentos e engenharias agroindustriais.

Finalmente, a engenharia da pesca, no caso o segmento aqüicultura, abrange o estudo de recursos pesqueiros marinhos e de águas interiores.

Os recursos humanos nas áreas de medicina veterinária, zootecnia e aqüicultura são gerados inicialmente nos 32 cursos de graduação existentes no país, com disponibilidade de 2.638 vagas e nos 16 cursos de graduação em zootecnia, com disponibilidade de 920 vagas anuais (dados de 1990). Os cursos de pós-graduação em medicina veterinária iniciaram-se em 1968 e hoje existem, nas diversas subáreas, 21 cursos no nível de mestrado e sete de doutorado, com forte predominância de localização no Sudeste, onde estão todos os cursos de doutorado e 71,4% dos de mestrado. No nível de pós-graduação, existem 14 cursos de mestrado e três de doutorado. Existem, ainda, dois cursos de mestrado em aqüicultura. Uma estimativa feita pelo CNPq revela que a força de trabalho na área de zootecnia no Brasil é constituída por 820 pesquisadores, dos quais 667 com mestrado e/ou doutorado.

Na área de medicina veterinária os números são equivalentes aos da área de zootecnia e, na aqüicultura, muito menores. Só no período de 1981-91, foram concedidas 1.290 bolsas de mestrado e 369 de doutorado a pós-graduados em medicina veterinária, e 1.468 de mestrado e 313 de doutorado, a pós-graduados na área de zootecnia, atestando a rápida multiplicação de recursos humanos nessas áreas das ciências agrárias.

Pesquisas nas áreas de medicina veterinária, zootecnia e aqüicultura

Pesquisas em doenças, nutrição animal, reprodução animal e técnicas de inseminação artificial, transplante de embriões entre outras, tanto na área de medicina veterinária quanto na de zootecnia e aqüicultura, envolvem, em diferentes escalas, os principais animais domésticos. As pesquisas estão concentradas em escolas de veterinária, zootecnia e agronomia, nos centros da Embrapa e em poucas instituições estaduais de pesquisa. Dados detalhados sobre o andamento das pesquisas encontram-se, por exemplo, na publicação do Pronapa (1993) e no relatório de atividades da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1992). Nos programas nacionais de pesquisa, a área de zootecnia e,

em especial, os bovinos são priorizados. Já os projetos financiados pelas agências estaduais de pesquisa, embora favoreçam pesquisas com bovinos, têm um maior equilíbrio entre trabalhos de medicina veterinária e zootecnia.

Estado-da-arte e perspectivas nas áreas de zootecnia, medicina veterinária e aqüicultura

O Brasil tem um dos mais numerosos rebanhos do mundo. Entretanto, a produtividade está muito abaixo da obtida na Austrália, EUA e Europa. A taxa de desfrute dos rebanhos é pequena, de apenas 12% nos bovinos, se comparada com as da Argentina (31%) e EUA (42%). A expansão limitada dos rebanhos torna o aumento da produtividade o objetivo principal das pesquisas, o que pode ser conseguido principalmente por combinação de genótipos superiores, alimentação e controle de doenças. A má alimentação dos rebanhos é um dos principais fatores da baixa produtividade e, no Brasil, existem ainda poucos estudos sobre sanidade animal, considerando-se sua importância para um país de clima tropical. As instituições de pesquisa onde são realizados os trabalhos de experimentação e investigação enfrentam problemas de falta de recursos financeiros e humanos.

Tendo em vista esse quadro, as prioridades estabelecidas em relatório do CNPq (proposta orçamentária, CNPq, 1992e) são: maior atendimento à demanda para trabalhos em medicina veterinária preventiva, doenças da esfera reprodutiva, patologia, inspeção de produtos de origem animal, zoonoses, doenças carenciais e metabólicas, e introdução de novas biotecnologias.

Na área de zootecnia, as sugestões são priorizar os campos de nutrição e alimentação animal, substituindo-se produtos nobres como milho e soja por subprodutos da agroindústria, estudo de forrageiras nativas, melhoramento genético animal, visando a obtenção de linhagens de aves, suínos e bovinos de alta precocidade e produtividade. Também sugere-se a avaliação e manutenção de raças mais rústicas, com melhor utilização de caprinos e bubalinos. Com relação aos sistemas de produção, propõe-se adequá-los às diversas regiões do país e, finalmente, a preservação e multiplicação de espécies nativas pouco exploradas, como a capivara, cateto e outras, como vem sendo feito na Esalq/USP e na Unesp/Jaboticabal.

Na aqüicultura, a prioridade é o aproveitamento mais racional dos recursos pesqueiros existentes e o desenvolvimento do cultivo de novas espécies. Um subprograma especial de ciência e tecnologia em produção animal (PCTPA) foi criado no âmbito do CNPq e da Finep, tendo como objetivos a articulação de esforços das agências financiadoras visando atacar os pontos críticos da produção animal, o desenvolvimento de processos de acompanhamento, o fornecimento de infra-estrutura básica, e o desenvolvimento de tecnologias e processos, capazes de contribuir para o aumento da produção e da produtividade. Esse programa abrange os bovinos (leite e corte), bubalinos, ovinos e caprinos.

Atualmente, ao lado de tecnologias clássicas e que muito têm ainda a oferecer, com vistas ao objetivo principal de aumento de produtividade, é possível lançar mão de outras tecnologias como: inseminação artificial, transplante de embriões, superovulação, engenharia genética, análise direta do DNA no suporte à genética quantitativa e, conseqüentemente, no melhoramento genético animal, informática e sistemas de registros do desempenho animal, reagentes de diagnósticos, controle do sexo na progênese, congelamento de embriões, fertilização *in vitro*, manipulação de microrganismos do rúmen etc. Para aplicação conjunta de técnicas clássicas e modernas, são necessários uma maior integração de instituições de pesquisa e pesquisadores, em um esforço multi e interdisciplinar, e o estabelecimento de prioridades, de acordo com as reais necessidades do país. Valem aqui as mesmas observações feitas no caso da área de agronomia visando a formação de recursos humanos qualificados no país e exterior, nesse caso principalmente por meio de bolsas-sanduíche. A multiplicação de recursos humanos pode ser conseguida a médio prazo pelo incentivo às bolsas de iniciação científica, especialmente em centros de pesquisa consolidados, uma vez que é evidente o alto aproveitamento de bolsistas de iniciação científica após sua graduação em cursos de pós-graduação, e posterior aproveitamento em instituições de ensino e pesquisa onde irão, em progressão geométrica, treinar novos bolsistas. Para que o programa funcione, entretanto, é preciso oferecer boas condições de trabalho, de forma a atrair os mais capacitados.

6. Área de engenharia agrícola

A engenharia agrícola visa a racionalização da infra-estrutura, realizando um sistema integrado de produção com maximização de mão-de-obra e otimização do consumo de energia e redução de perdas. Com cinco regiões geofísicas, cada uma delas com suas peculiaridades, o Brasil oferece restrições ao emprego de várias tecnologias para a exploração agrícola. Por sua vez, a expansão da fronteira agrícola ocorre em áreas de difícil acesso à tecnologia existente ou importada, configurando problemas que buscam soluções na engenharia agrícola (Marchetti, 1987).

Embora fizesse parte das escolas de agronomia, o setor de engenharia agrícola foi sempre relegado a segundo plano em razão da prioridade conferida às ciências biológicas. Embora cursos específicos de engenharia agrícola existam há muitos anos em países do Primeiro Mundo, só em 1978 a profissão foi regulamentada no Brasil, após a formatura da primeira turma de engenheiros agrícolas na Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, em 1977. Hoje, existem oito cursos de graduação na área, com cerca de 400 vagas anuais. Ao lado dos

cursos de graduação, também iniciaram-se cursos de pós-graduação. Existem no Brasil, nove cursos de mestrado e três de doutorado (tabela 3).

Tabela 3
Cursos de pós-graduação na área de engenharia agrícola no Brasil

Região	Instituição	Curso	Ano de início		Conceitos Capes	
			Mest.	Dout.	Mest.	Dout.
Nordeste	UFCe (CE)	Irrigação e drenagem	1973	–	B	–
	UFPb (PB)	Engenharia agrícola	1987	–	C	–
Sudeste	UFV (MG)	Engenharia agrícola	1979	1989	A	S/C
	Esalq/USP (SP)	Irrigação e drenagem	1977	1990	A	S/C
	Esal (MG)	Engenharia agrícola	1990	–	S/C	–
	Esalq/USP (SP)	Máquinas agrícolas	1989	–	B	–
	Unicamp (SP)	Engenharia agrícola	1977	–	B	–
	Unesp/Bot (SP)	Irrigação e drenagem	1988	1988	B	B
Sul	UFSM (RS)	Engenharia agrícola	1976	–	B	–

A área é dividida em cinco subáreas: armazenamento e processamento de produtos agrícolas, engenharia de água e solo (irrigação e drenagem), mecanização agrícola, construções rurais e ambiência, e energização rural. Os grupos brasileiros que atuam na área estão localizados no Nordeste (UFCe e UFPb), Sudeste (UFV, Esalq/USP, Esal, Unicamp, Unesp, IAC), e Sul (UFRS, UFPEL, UFSM e Iapa), além de centros da Embrapa localizados em diversas regiões do país, que também estão envolvidos em subáreas da engenharia agrícola.

A engenharia agrícola é uma área relativamente nova dentro das ciências agrárias, mas com crescimento relativamente rápido, embora com carência de infra-estrutura laboratorial e de equipamentos. Nas subáreas de irrigação e drenagem e armazenamento e processamento de grãos já existe uma massa crítica mínima qualificada. As outras três subáreas ainda requerem crescimento qualitativo e quantitativo. Houve um incremento de 81% na concessão de bolsas no país pelo CNPq em 1991, com 178 bolsas concedidas ou recomendadas, e um aumento de 51% nas bolsas para o exterior, com 73 bolsas aprovadas (CNPq, 1992c).

Armazenamento e processamento de produtos agrícolas

Seu objetivo é realizar pesquisas para gerar tecnologias relacionadas ao beneficiamento, secagem e armazenagem na propriedade agrícola. As linhas de

pesquisa priorizadas são: pré-limpeza de grãos; máquinas e equipamentos de secagem e aeração de produtos agrícolas; transferência de produtos agrícolas; tratamento de produtos armazenados com estimativa de danos e perdas; armazenamento de sementes; desenvolvimento de máquinas e equipamentos para pré-processamento, manuseio e armazenagem de produtos agrícolas.

Irrigação e drenagem

É a subárea mais desenvolvida entre as cinco que compõem a engenharia agrícola. Realiza pesquisas sobre a utilização racional da água e do solo, envolvendo a avaliação das disponibilidades, demanda, armazenamento, condução e distribuição, qualidade, e usos e manejos apropriados para a propriedade rural. Está intimamente relacionada às áreas de ciência do solo e à climatologia. As linhas de pesquisa priorizadas são as de hidrologia da superfície e subterrânea, características físico-hídricas do solo, determinação de parâmetros básicos para a irrigação, relações solo-água-planta, salinidade dos solos, prevenção e controle da erosão, engenharia hidráulica e de irrigação e drenagem, agroclimatologia (regime hídrico, previsão de tempo) e economia de projetos.

Embora não enquadrada na engenharia agrícola, vale citar uma outra subárea, a agrometeorologia, com grande interface com a subárea de irrigação e drenagem. Nela funciona um programa envolvendo 40 instituições brasileiras, inclusive com dois cursos de pós-graduação em agrometeorologia apoiando práticas de irrigação, com forte enfoque na conservação de recursos naturais. Os principais centros envolvidos com a agrometeorologia no Brasil são a UFV, Esalq/USP, Unesp/Jaboticabal, Instituto Agronômico de Campinas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Unesp/Botucatu, Esal, Iapar, UFRGS/Ipagro, Embrapa (Cpac, Cpatu, CNPAF), UFSM e Instituto Astronômico e Geofísico da USP. Nos últimos anos, o grupo de agrometeorologistas do país tem estado bastante ativo. De 1981 a 1991, foram publicados cerca de 300 trabalhos na subárea, por pesquisadores brasileiros, cerca de 10% dos quais no exterior.

Mecanização agrícola

Pesquisa interações operador-máquina-solo-relevo e planta, com o objetivo de melhorar o processo de produção agrícola com diminuição dos custos de produção. Entre suas linhas principais de pesquisa desenvolvidas no país, estão: emprego de máquinas movidas por motores (turbinas, rodas d'água, moinhos de vento etc.); emprego de motores de combustão interna; emprego mais eficiente de energia a ração animal; máquinas, implementos e ferramentas para preparo do solo, semeadura, plantio, tratamento fitossanitário, adubação e aviação agrícola; máquinas e equipamentos para colheita e transporte de produtos agrícolas; máquinas e equipamentos de secagem de produtos agrícolas; máquinas e equipamentos para pré-processamento, manuseio e armazenagem de produtos agrícolas; máquinas e técnicas de controle da erosão; e estudo de simulação de processos mecanizados das principais culturas, máquinas de bombeamento de água para irrigação, drenagem e recuperação de várzeas ou terras inundadas.

Construções rurais e ambiência

Visa pesquisar instalações adequadas para o homem do campo e animais e o emprego de materiais disponíveis no campo. Suas principais linhas de pesquisa, no Brasil, são: materiais de construção; estudo da forma funcional das construções; técnicas de construção; equipamentos diversos (cercas eletrificadas, ordenhadoras mecânicas, incubadoras, removedores de dejetos etc.), fisiologia, ambiência e produtividade de animais e plantas, isolamento térmico de construções; iluminação natural e artificial; isolamento e sombras; ventilação mecânica e natural; umidificação e desumidificação do ar ambiente; saneamento rural.

Energização rural

Tem o objetivo de desenvolver e adequar a oferta de energia como insumo para o aumento de produtividade na propriedade agrícola. Suas linhas prioritárias de pesquisa são: desenvolvimento de microdestilarias; uso de etanol como combustível; utilização de óleos vegetais como combustível; técnicas, manejo e equipamentos para a exploração de vegetais com fins energéticos; utilização de lenha, carvão e resíduos agrícolas com fins energéticos; utilização do biogás; utilização de energia solar no meio rural; aproveitamento de outros tipos de energia.

Programas de pesquisa e número de projetos nas subáreas

Abrangendo uma ou mais dessas subáreas da engenharia agrícola, a Embrapa coordena o programa nacional de pesquisa, de irrigação e drenagem, com cerca de 100 pesquisadores envolvidos. O programa já gerou tecnologias como o desenvolvimento de tanques de fertirrigação, a avaliação de custos de produção em culturas irrigadas, a adequação de aspersão em várias culturas e a produção de banana por irrigação em superfície.

Outro programa nacional de pesquisa, o de diversificação agropecuária — produtos diversos —, tem também gerado máquinas e equipamentos, como os de determinação do teor de óleo em sementes, água em sementes e outros órgãos vegetais, semeadeiras para várias culturas e plantio direto, e máquinas descorticadoras de sisal.

Tem-se também, no Brasil, dado ênfase a tecnologias geradas para o pequeno produtor, como o desenvolvimento de materiais de irrigação de fácil instalação e de grande economicidade, cisternas rurais para captação e armazenamento de água no Nordeste, plantadeiras e granuladeiras de tração animal mais econômicas e eficientes, pulverizadores de maior eficiência com redução em

25% dos custos, técnicas e equipamentos de armazenamento de grãos etc. (Pronapa, 1993, Embrapa, 1985).

Além disso, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo tem desenvolvido alguns equipamentos e técnicas em diversas subáreas da engenharia agrícola. Em 1991, essa secretaria desenvolveu processos de desinfestação do solo, com calor obtido da energia solar para uso em vasos, canteiros e viveiros; também desenvolveu uma semeadeira para diversas hortaliças e um protótipo de cultivador central, para controle de plantas invasoras em áreas de plantio direto, com a soja sucedendo o trigo (Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 1992).

O número de projetos financiados pelas principais agências de fomento à pesquisa é ainda pequeno. O CNPq financiou, em 1991, apenas 27 projetos individuais (valor médio de US$6,000 por projeto) e nove integrados (valor médio de US$20,000 por projeto). A Fapesp, em 1991, financiou 33 projetos, especialmente em máquinas agrícolas (11) e irrigação e drenagem (nove), e a Fapergs, em 1992, financiou 17 projetos em engenharia agrícola, especialmente nas áreas de irrigação e drenagem (quatro), e armazenamento de produtos agrícolas (quatro).

Estado-da-arte e perspectiva da área de engenharia agrícola

A área tem quantidade regular de pessoal em irrigação e drenagem e armazenamento e processamento de grãos. É necessário um aumento quantitativo nas áreas de energização, ambiência e construções, e máquinas agrícolas. Além de pouca disponibilidade de pessoal, os pontos de estrangulamento são a infra-estrutura e a falta de integração entre universidades, centros de pesquisa e indústrias, bem como entre o pessoal de pesquisa e o de extensão rural. Embora consolidada internacionalmente, a engenharia agrícola tem um longo caminho a percorrer no Brasil até sua real implantação e consolidação; o número de publicações brasileiras na área é ínfimo, quando comparado com o de publicações do exterior. Mesmo para o Brasil, a qualidade e quantidade de publicações é bem inferior às de outras áreas das ciências agrícolas. Os impactos da engenharia agrícola oriundos da pesquisa são ainda pequenos, com ligeira melhora nas áreas de irrigação e drenagem, e armazenamento e processamento de produtos.

Recomendações e prioridades para o desenvolvimento da engenharia agrícola são, em parte, semelhantes às de outras áreas, e priorizam o aumento dos recursos humanos, especialmente através de bolsas de iniciação científica e treinamento no exterior. Segundo Marchetti (1987), um programa nacional de engenharia agrícola deveria priorizar, em um enfoque inter e multidisciplinar, a criação de tecnologia básica, atuar de forma integrada com entidades públicas e privadas envolvidas no setor e promover intercâmbio com entidades do exterior de larga experiência na área, na condução de trabalhos de pesquisa e intercâmbio em geral.

7. Área de alimentos

Embora a área de alimentos não seja realmente enquadrada nas ciências agrárias, pois não está diretamente relacionada com a produção de alimentos, em algumas classificações ela é considerada parte das ciências agrárias. Entretanto, ela não será analisada, bastando apenas mencionar que o primeiro curso de graduação foi criado na Unicamp, tendo como propulsor o Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Por sua vez, o Ital teve, na sua formação, fortes ligações com a Esalq/USP e esta talvez seja a razão da área de alimentos a ser classificada, em alguns casos, como pertencente às ciências agrárias. Hoje existem, no Brasil, 19 cursos de pós-graduação no nível de mestrado e seis de doutorado na área de alimentos. O primeiro curso de pós-graduação foi o de ciência de alimentos, criado na USP em 1968. Hoje, existem cursos no Norte (Inpa), Nordeste (UFCe e UFPb), Sudeste (UFRJ, UFMG, UFV, Esalq/USP, Esal, Unesp/Araraquara, Unicamp, UFSC) e Sul (UFPr, UEL, UFSM e UFPEL). A caracterização da área e o seu estado-da-arte no Brasil e no âmbito internacional podem ser encontrados em publicação que, embora desatualizada em certos aspectos, ainda é bastante útil em relação à definição, características gerais, subáreas, desenvolvimento da área no Brasil e às recomendações propostas (Mors, 1974).

8. Considerações finais e recomendações

Esse trabalho procurou demonstrar a grande abrangência e importância das ciências agrárias para o Brasil. Enfatizou as linhas de pesquisa prioritárias nas principais áreas e subáreas que constituem as ciências agrárias, dando exemplo de produtos obtidos e retorno que a pesquisa ofereceu em termos econômicos e sociais para nosso país. As principais deficiências e entraves para que os objetivos da pesquisa possam ser atingidos foram mencionados para as diversas áreas, e foram discutidas algumas iniciativas necessárias para superar as dificuldades. Em vários tópicos, foi feita uma comparação entre as pesquisas desenvolvidas no Brasil e no exterior. Os dados apresentados demonstram que, quantitativamente, o país dispõe de uma boa rede de instituições de ensino superior, embora mal distribuída, porque concentrada no Sudeste e Sul; qualitativamente, essas instituições apresentam grande heterogeneidade. Os centros de pesquisa se distribuem por todas as regiões, e o Brasil conta com a maior empresa de pesquisas agropecuárias do Terceiro Mundo, a Embrapa. As pesquisas, entretanto, carecem de maior objetividade, prioridades não são bem definidas, e há falta de integração inter e multidisciplinar. Há, também, uma queda de competitividade em termos

mundiais com a introdução lenta, no Brasil, das modernas tecnologias disponíveis, principalmente nos últimos 20 anos. A infra-estrutura de laboratório e campo tem sofrido pela falta de recursos destinados à pesquisa, particularmente nos últimos anos.

Com base no que foi apresentado, é possível sugerir algumas recomendações visando ao desenvolvimento harmônico e racional das ciências agrárias no Brasil, detalhadas a seguir.

Formação de recursos humanos e treinamento de pessoal

Como foi visto, a multiplicação de escolas de graduação no Brasil, especialmente nas últimas décadas, na área de ciências agrárias, resultou em uma disponibilidade razoável de vagas. Entretanto, a grande heterogeneidade dessas escolas revela a necessidade de um aprimoramento e reciclagem dos docentes, mesmo nos centros mais consolidados. A concentração de centros de ensino em ciências agrárias no Sudeste e Sul é, por sua vez, um traço comum a todas as grandes áreas do conhecimento. Propostas para reduzir essa assimetria regional seriam inócuas, a não ser que fossem adotadas medidas mais abrangentes para promover um desenvolvimento equilibrado em todo o país. Entretanto, é possível fazer recomendações com relação ao aprimoramento do pessoal docente e ao incentivo a bolsas de iniciação científica, destinadas a atender às necessidades de promoção de jovens pesquisadores que serão imprescindíveis, caso seja priorizada a área de ciências agrárias, tendo em vista o aumento da população brasileira e mundial, a diminuição de mão-de-obra no campo, a carência atual de alimentos, e outros problemas que só podem ser resolvidos com o aumento de produtividade agrícola e, conseqüentemente, o aumento de pessoal firmemente engajado em pesquisa.

O aprimoramento de pessoal de nível superior tem de ser feito principalmente através de cursos de mestrado e doutorado. Felizmente, graças a um esforço das instituições de ensino superior e do apoio decisivo da Capes, que, inclusive, desenvolveu um processo de avaliação reconhecido como de grande utilidade, o Brasil dispõe de um bom sistema de pós-graduação em ciências agrárias, que permite a formação de mestres e doutores no próprio país.

A tabela 4 mostra que tanto o fluxo de mestres e doutores quanto o número de alunos matriculados nos últimos cinco anos estão aumentando e que, em relação ao número total de pós-graduados e pós-graduandos no país, as ciências agrárias contribuem com mais de 10%, tanto em alunos matriculados, quanto em ingressantes e titulados. As mesmas percentagens se repetem com relação ao número de bolsas concedidas.

Tabela 4

Alunos matriculados e titulados por cursos de pós-graduação em ciências agrárias no país em 1986 e 1990

	Alunos da área de ciências agrárias				Total de pós-graduados no país			
	1986		1990		1986		1990	
	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.	Mest.	Dout.
Matriculados	2.700	750	3.100	1.000	18.500	5.400	25.000	8.250
Ingressantes	700	100	750	200	4.500	1.000	6.000	1.500
Titulados	500	60	400	110	2.000	600	3.000	1.000

Nota: Dados da Capes, números aproximados.

Os dados da tabela 5 mostram que, nas ciências agrárias, a agronomia está em posição superior às outras áreas, seguindo-se alimentos, medicina veterinária, zootecnia, engenharia agrícola e engenharia florestal. Nota-se aí uma tendência de concessão de maior número de bolsas de doutorado em relação às de mestrado, pelo menos em relação ao Programa Integrado de Capacitação de Docentes (Picd). A recomendação é de que esses percentuais sejam mantidos, com incremento no número de bolsas nas diversas áreas para estimular o retorno do pessoal qualificado às instituições de origem, ou mesmo seu ingresso em instituições de ensino mais carentes, melhorando a qualidade docente e permitindo a multiplicação de recursos humanos a médio prazo. O apoio às instituições e cursos de pós-graduação de bom nível tem se reforçado e aprimorado a prospecção de instituições e cursos em consolidação que, se apoiados, deverão oferecer condições apropriadas e estímulo a novos docentes qualificados em instituições de reconhecida competência.

Tabela 5

Bolsas de mestrado e doutorado concedidas pela Capes (Picd) em 1992 a alunos de pós-graduação nas diversas áreas de ciências agrárias, com relação ao número total de bolsas concedidas

Área	Números de bolsas (Picd)	
	Mestrado	Doutorado
Agronomia	65	113
Medicina veterinária	24	37
Zootecnia	15	21
Alimentos	16	47
Engenharia agrícola	17	14
Engenharia florestal	10	16
Total	147	248
Total Brasil	1.446	2.310

Nota: Dados da Capes.

O treinamento no exterior não deve ser esquecido. Os altos custos de taxas e manutenção de pós-graduandos no exterior e a existência de cursos semelhantes de bom nível no Brasil desaconselham a concessão de bolsas de pós-graduação no exterior no nível de mestrado. No caso do doutorado, ainda existem subáreas carentes e, nesses casos, o doutorado no exterior é viável, especialmente quando se busca introduzir novas tecnologias. A Capes concedeu, em 1992, 2.885 bolsas de pós-graduação no exterior, 123 das quais (5.9%) em ciências agrárias, principalmente nos EUA (48), França (24), Inglaterra (20), Espanha (16), Canadá (5), Alemanha (3) e, em menor escala, em outros países (7). Uma recomendação adicional seria canalizar um maior número de estudantes para países como Israel, China, Japão, Austrália e mesmo países da América Latina, onde funcionam centros internacionais de alto nível (Colômbia, México, Peru e Costa Rica, entre outros).

Uma opção bastante viável, atrativa e de menor custo seria o envio de pós-graduandos para o exterior, principalmente os que já estão realizando doutorado no Brasil, por meio de bolsas-sanduíche, com duração máxima de um ano. Com objetivos bem definidos, essas bolsas permitiriam que parte da pesquisa fosse realizada no exterior pelo aluno que, além de absorver e trazer novas tecnologias, teria oportunidade de vivência em centros de excelente nível e contatos importantes com pessoal de renome na área. Essas bolsas-sanduíche, além de reduzirem os custos, não provocam a desadaptação e frustração, tão freqüentes em novos PhDs que regressam ao país após vários anos de permanência no exterior.

É preciso, sobretudo, incentivar bolsas de pós-doutorado. Elas são essenciais para uma reciclagem de docentes com boa experiência, mas que necessitam de um treinamento no exterior, especialmente entrando em contato com novas tecnologias. São importantes também para recém-doutores que realizaram todo o curso no Brasil e que, demonstrando alta capacidade para a pesquisa, necessitam de um treinamento adicional no exterior. As bolsas de pós-doutorado têm, ainda, a vantagem do custo bem menor do que as de doutorado integral no exterior, uma vez que um ano é suficiente para que o treinamento possa ser realizado na maioria dos casos, e sem pagamento de taxas. Devem ser incentivadas também as bolsas de pós-doutorado no país, nas quais docentes de instituições recém-implantadas ou em consolidação se deslocariam para instituições de maior experiência no próprio Brasil.

Além do apoio ao treinamento por meio da pós-graduação, é importante reforçar os programas de iniciação científica. Está comprovado que um grande contingente de alunos de graduação com treinamento em pesquisa através da iniciação científica continua o seu treinamento no nível de pós-graduação. São dos alunos que recebem treinamento em pesquisa na graduação que emergem os melhores mestres e doutores, que se tornarão pesquisadores experientes a médio prazo. Em uma projeção para 1994, o CNPq recomendava a concessão, em todas as áreas e subáreas de ciências agrárias, de cerca de 4 mil bolsas de iniciação científica, atendendo a uma demanda cada vez maior, metade delas para a área de agronomia.

Ainda com relação ao treinamento, formação e reciclagem de pessoal, é preciso não esquecer o importante papel desempenhado pela vinda de pesquisadores visitantes do exterior, principalmente em áreas novas ou carentes. É observando *in loco* o estado atual da pesquisa em uma determinada área, subárea ou linha, que o pesquisador visitante pode aquilatar as iniciativas a serem tomadas e o tipo de treinamento de que os pesquisadores brasileiros necessitam, quando vão para o exterior. Eventos científicos não podem também ser esquecidos, pois em um país de grande extensão territorial eles facilitam o intercâmbio de informações e o maior aproveitamento de professores visitantes do exterior, para troca de idéias e informações.

Em resumo, na área de formação e treinamento de pessoal as recomendações são no sentido de prosseguir com o apoio à pós-graduação no país, incentivar bolsas tipo "sanduíche", de pós-doutorado e de iniciação científica, bem como a vinda de pesquisadores estrangeiros de alto nível e a realização de reuniões científicas.

Priorização de pesquisas e integração de pessoal

Já foi visto que, nas ciências agrárias, certas áreas, subáreas e linhas de pesquisa apresentam maior desenvolvimento quando comparadas com outras. Certas linhas de pesquisa e culturas dispõem de bom contingente de pessoal qualificado, com grande número de projetos em andamento ou concluídos. Outras se ressentem da falta de pessoal e de objetivos definidos. Isso seria compreensível se as áreas favorecidas fossem as prioritárias e vice-versa, o que muitas vezes não ocorre. Há necessidade, portanto, de uma definição de prioridades, especialmente em centros de pesquisa estaduais e federais. Se na universidade é compreensível uma certa dispersão nas pesquisas, visto que ela visa não apenas à resolução de problemas atuais, que é a maneira de gerar benefícios à comunidade que a sustenta, mas também abrir perspectivas para o futuro, isto é mais difícil de admitir em empresas e em outras instituições. Nesse caso, é importante detectar prioridades em um processo contínuo e cíclico, onde o início e término das ações convergem para os usuários, clientes e beneficiários. Após 20 anos de atividades, a Embrapa pretende desenvolver um enfoque de pesquisa e desenvolvimento que atinja exatamente os objetivos propostos (Embrapa, 1993a). Esse enfoque é aplicável a toda a área de ciências agrárias. Em resumo, as recomendações são de que sejam estabelecidas as seguintes etapas para a priorização de pesquisas:

- identificação de demandas, seleção de problemas prioritários, geração de idéias, avaliação e análise ambiental, sócio-econômica e de mercado. Nesse caso, pesquisadores, extensionistas, difusores, usuários, lideranças políticas e especialmente em *marketing* seriam os principais agentes, gerando um projeto de pesquisa e desenvolvimento;

- execução do projeto pelos pesquisadores, o que geraria tecnologias, processos e produtos semi-acabados;

• ensaios e adaptação desses "protótipos" em condições do sistema produtivo, com acompanhamento por pesquisadores, extensionistas e usuários, gerando tecnologias, serviços e produtos acabados;

• difusão dessas tecnologias, processos e produtos, tendo como agentes os extensionistas, pesquisadores e especialistas em *marketing*, gerando maior produção, renda e impacto social (Embrapa, 1993a).

Para que esse programa possa atingir o sucesso esperado, é necessária uma íntima integração dos agentes envolvidos, e, especialmente, dos pesquisadores. Não se pode desenvolver programas dessa natureza sem integração de pesquisadores de diferentes especialidades. A integração é difícil, mas pode ser conseguida a médio prazo pela indução das agências financiadoras apoiando pesquisa com prioridade para projetos integrados. Não se admite, hoje em dia, que um objetivo amplo seja atingido sem um enfoque inter, multi e transdisciplinar. Na grande área de ciências agrárias isso é altamente desejável. Por tradição, muitos centros de ensino e pesquisa no Brasil apresentam duplicidade de equipamentos, inclusive os mais sofisticados que, no dia-a-dia, são subutilizados. A implantação de laboratórios centrais, onde equipamentos seriam de uso comum a várias linhas e áreas de pesquisa, traria benefícios evidentes, como melhor utilização, facilidade de manutenção e menor custo.

Na priorização de pesquisas, a ênfase em processos e produtos no âmbito regional é importante. O Brasil tem uma agricultura e uma pecuária que muitas vezes têm facetas regionais. A busca de processos e produtos que possam beneficiar não só a região, mas também competir internacionalmente, é de extrema importância. Assim, uma recomendação final nesse item é que a busca de produtos ainda não desenvolvidos, mas de potencial regional, nacional, e com competitividade internacional, seja também priorizada, como é o caso de certas fruteiras típicas dos países tropicais. A priorização da pesquisa é sempre problemática e perigosa, mas pode ser feita, desde que casuísmos e interferências políticas sejam evitados. O momento é propício, e já existe maturidade e massa crítica suficientes em ciências agrárias para definir prioridades e estimular maior integração de pessoal.

Fica evidente que, para que o resultado de pesquisas em laboratório e campo, desenvolvidas em universidades e outras instituições, atinja o setor produtivo, agricultores e pecuaristas, é necessária a colaboração do usuário, de empresas privadas e do extensionista. A extensão rural é uma das mais carentes áreas das ciências agrárias; a integração universidade/instituição de pesquisa e empresa privada é ainda pequena no Brasil, em muitas áreas. Recomenda-se um maior esforço no sentido de desenvolver a extensão rural, e de favorecer a integração da pesquisa em instituições públicas com empresas privadas. Programas de formação de extensionistas, além de vantagens de dedução de impostos para empresas que invistam em pesquisa, já estão em andamento ou em estudo no Brasil, e serão de grande valor para que os resultados da pesquisa beneficiem o usuário e, conseqüentemente, toda a população.

Novas tecnologias, preservação do ambiente e qualidade

As décadas de 40, 50 e 60 foram marcadas pela busca do aumento da quantidade de produtos agrícolas, pelo desenvolvimento de processos mecânicos e químicos, com a máquina substituindo o homem, e pela tímida aplicação de processos biológicos, especialmente cruzamentos genéticos para obtenção de cultivares mais produtivos. Uma completa revolução ocorreu, principalmente a partir da década de 80, e que deve persistir na atual década. A quantidade, embora importante, está agora acoplada à qualidade dos produtos. A comunicação, a troca de informações rápidas e os modernos processos de computação tornam-se importantíssimos, e a biotecnologia vegetal e animal deu uma nova dimensão aos processos clássicos de melhoramento genético, fitossanidade e sanidade animal, entre outros. O desenvolvimento é tão rápido que a geração de conhecimentos e tecnologias alcançados ao longo de vários séculos corresponde a alguns poucos anos na atualidade. A demora para atualização hoje é crucial, e pode influir decisivamente para que esse tempo dificilmente seja recuperado. Assim, é imprescindível a incorporação de novas informações e tecnologias. Recomendação óbvia é a de incorporação dos novos conhecimentos, pela atualização das bibliotecas e outras fontes de informação, de modo que, rapidamente, elas estejam disponíveis aos pesquisadores. Para isso, é necessário um investimento não só em serviços de informação e bibliotecas, como no treinamento dos usuários, no caso pesquisadores, para que possam ser utilizadas e otimizadas as fontes de informação. Necessário é também que se criem mecanismos de rápida absorção das novas tecnologias, pelo treinamento de pessoal e modernização de laboratórios, visando à aplicação dessas tecnologias.

Atualmente, além da quantidade, a qualidade do produto é importante. O mercado consumidor está cada vez mais exigente, não absorvendo produtos de procedência duvidosa, qualidades organolépticas indesejáveis, poluídos por agroquímicos ou de visual não apropriado. O mercado exterior rejeita esses produtos, e o mercado brasileiro está se tornando também mais exigente, pelo menos nos grandes centros. Diante disso, a pesquisa, que até há pouco tempo se voltava exclusivamente para a maior produção e produtividade, terá de se adptar às novas exigências do mercado. Os cursos de graduação e pós-graduação em ciências agrárias, em geral, não se aperceberam dessas novas tendências, e a recomendação é que eles, rapidamente, formem pessoal consciente das modificações que ocorrem no mercado atual.

Principalmente, não é mais admissível a obtenção de uma alta produtividade ao custo de prejuízos ao ambiente. A preservação das condições de vida é primordial, e atinge todas as áreas das ciências agrárias. Processos de controle biológico, agricultura alternativa e manutenção do germoplasma vegetal e animal são extremamente importantes, e treinamento de pessoal, pesquisa e extensão devem operar em conjunto, sem o que perdem sentido os aumentos de produção e produtividade.

Investimentos em ciências agrárias

A formação e treinamento de pessoal, a realização de pesquisas mais definidas e integradas e a incorporação de novas tecnologias com aumento de qualidade e preservação do ambiente requerem maiores investimentos financeiros na pesquisa em ciências agrárias. Vale a pena exemplificar com alguns dados reais o que se investe em pesquisa em ciências agrárias, em comparação com outras áreas do conhecimento no Brasil. A Fapesp, maior agência de financiamento à pesquisa estadual, em 1991, investiu, em ciências agrárias, 8,21% de seus recursos, em comparação com montantes mais elevados destinados às áreas de saúde, biologia, engenharia, física e química. As percentagens destinadas às ciências agrárias pelo CNPq, Capes e outras agências devem ser um pouco mais elevadas, como se pode depreender das percentagens de bolsas concedidas. A Fapergs destina 13,64% às ciências agrárias. Mesmo nas previsões mais otimistas, essas percentagens não devem passar dos 15% na grande área de ciências agrárias, considerando-se o investimento de todas as fontes de financiamento no país.

A agricultura e *agribusiness* são responsáveis por cerca de 40% de nosso PIB; os retornos financeiros que advieram de aplicações da pesquisa em ciências agrárias para a sociedade brasileira são muitas vezes maiores que os investimentos feitos. Nada mais justo, portanto, que valores bem maiores do que esses fossem aplicados na pesquisa agropecuária. É verdade que um dos responsáveis por esse baixo percentual é o próprio pesquisador em ciências agrárias que, com menor agressividade do que os de outras áreas, ou tendo recursos da própria instituição, como foi o caso da Embrapa até recentemente, solicita menos financiamentos para suas pesquisas às agências financiadoras. Isso resulta em uma demanda menor e, conseqüentemente, em menor número de projetos aprovados.

Por outro lado, entretanto, os mecanismos de financiamento da maioria das agências de apoio à pesquisa favorecem o apoio a pesquisadores com maior número de trabalhos publicados em revistas do exterior e de nível internacional. Essa forma de seleção, embora apropriada às áreas básicas, prejudica sensivelmente as áreas mais profissionalizantes e de características regionais, como é o caso das ciências agrárias. Recente levantamento, realizado nesse sentido (Schott, 1993), mostra com grande propriedade que o Brasil contribui apenas com 0,3% dos artigos publicados em revistas de bom nível e indexadas, e que em citações em trabalhos extraídos dessas mesmas revistas o Brasil tem uma contribuição de apenas 0,2%. Há que se admitir, portanto, a sofrível *performance* do Brasil em comparação com a ciência e tecnologia mundiais. A área de ciências agrárias não foge a esses padrões. Em agronomia, engenharia florestal e alimentos, o Brasil contribui com 1,3% do total de publicações na área. Em medicina veterinária, a percentagem é bem menor (0,4%). Mesmo em áreas consideradas mais desenvolvidas no país, esses percentuais são comparáveis aos das áreas de ciências agrárias (0,58% para clínica médica, 1,03% para biomedicina,1,6% para biologia, 0,74% para química e 1,82% para física),

sempre segundo os dados de Schott (1993), baseados no período 1980-86. Não há, portanto, que penalizar a área de ciências agrárias, com base no critério de publicações no exterior, pois além da produção não ser defasada em relação às das outras áreas, é preciso levar em conta que, em inúmeros casos, é mais importante publicar uma pesquisa de âmbito regional em revistas também de âmbito local e que, embora não atinjam os níveis de excelência desejáveis, contribuem para a difusão e incorporação de novas tecnologias em âmbito regional ou nacional. A recomendação nesse caso é que, em primeiro lugar, os pesquisadores em ciências agrárias sejam incentivados a buscar mais agressivamente recursos junto às agências financiadoras de pesquisa no país e exterior, e, em segundo lugar, que essas agências entendam e considerem o valor das publicações regionais em ciências agrárias.

Finalmente, há que se levar em conta que os investimentos em pesquisa na área de ciências agrárias são, em geral, dispendiosos. Aliados a trabalhos de laboratório, na maioria das vezes têm que ser realizados experimentos em campo, que necessitam de mão-de-obra e equipamentos específicos. Solicitações de auxílio à pesquisa que envolvem equipamentos como fotomicroscópios, ultracentrífugas, espectrofotômetros e outros são muito mais facilmente atendidos por agências financiadoras de pesquisa no país que solicitações de tratores e implementos agrícolas para trabalhos de campo. O campo tem de ser entendido como o "laboratório" de muitas pesquisas em ciências agrárias. Os auxílios para aquisição de materiais de consumo de pesquisadores em ciências agrárias na área experimental de campo (fertilizantes, rações, inseticidas etc.) são muito mais dificilmente atendidos do que os auxílios referentes a materiais de consumo de pesquisadores em áreas básicas (sais, meios de cultura, enzimas). Isso decorre da própria formação dos dirigentes e responsáveis pelo julgamento e aprovação de projetos em instituições de financiamento à pesquisa no Brasil. A recomendação, nesse caso, é que haja maior sensibilidade dos agentes financiadores de pesquisa no país para a realidade nacional, dentro da perspectiva de que, muitas vezes, o apoio a projetos de impacto regional ou nacional, mesmo não-competitivos internacionalmente, pode produzir retornos consideráveis para a comunidade. Esses retornos são, em grande parte, responsáveis pela manutenção das próprias agências e dos pesquisadores.

Laboratórios, áreas de campo e estações experimentais estão sofrendo nas ciências agrárias e em praticamente todas as áreas, com as limitações impostas ao financiamento à pesquisa no Brasil. Isto, a médio e longo prazos, deverá provocar efeitos altamente prejudiciais ao desenvolvimento do país. Ao lado das recomendações propostas, fica esta última: devolver, pelo menos, aos centros de excelência em ciências agrárias no Brasil, sua capacidade de desenvolver pesquisas de real valor, competitivas e/ou de importância para a comunidade.

Referências bibliográficas

Abeas (Associação Brasileira de Ensino Agrícola Superior). *Guia das instituições de ensino superior.* 4 ed. Brasília, Abeas, 1989.

———. I Plano de desenvolvimento do ensino de ciências agrárias para a década de 1990. Brasília, Abeas, 1991. 42p. mimeog.

Academia de Ciências do Estado de São Paulo. *Ciência e tecnologia no estado de São Paulo. III — agropecuária — solo.* São Paulo, Aciesp e Secretaria da Cultura, Ciência e Tecnologia, 1978a. *Aciesp*, *4*(3), 1978. 108p.

———. *Ciência e tecnologia no estado de São Paulo. VI — agropecuária — pecuária.* São Paulo, Aciesp e Secretaria de Cultura, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 1978b. *Aciesp*, *4*(6), 1978. 23p.

Capdeville, G. *O ensino superior agrícola no Brasil.* Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1991. 108p.

Capes (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Cursos de pós-graduação em ciências agrárias no Brasil. Capes, Brasília, 1993. 10p. mimeog.

Cirino, E. P. Aqüicultura no Brasil. Esalq/USP, 1993. 3p. mimeog.

CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Diagnóstico da área de agronomia e previsão orçamentária para o ano de 1993. Brasília, CNPq, 1992a. 11p. mimeog.

———. Plano de ação e proposta orçamentária — área de alimentos. Brasília, CNPq, 1992b. 7p. mimeog.

———. Plano de ação e proposta orçamentária — área de engenharia agrícola. Brasília, CNPq, 1992c. 8p. mimeog.

———. Plano de ação e proposta orçamentária para 1993 — engenharia florestal. Brasília, CNPq, 1992d. 6p. mimeog.

———. Proposta orçamentária para 1993, referente às áreas de medicina veterinária, zootecnia, aqüicultura e programa de ciência e tecnologia em produção animal. Brasília, CNPq, 1992e. 35p. mimeog.

Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. *Principais atividades, 1992.* São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, 1993. 24p.

Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Embrapa/12 anos.* Brasília, Embrapa, 1985. 108p.

———. *Programa nacional de pesquisa em fruteiras de clima tropical.* Cruz das Almas, PNPFCT/Embrapa, 1991. 73p.

———. *Embrapa — 20 anos.* Brasília, Embrapa, SPI, 1993a. 40p.

———. *O enfoque de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e sua implementação na Embrapa, departamentos, pesquisa e desenvolvimento.* Brasília, Embrapa, 1993b. 29p.

Esalq (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz). *Cadastro de pesquisas em andamento, 1991.* Piracicaba, Campus da USP, 1992. 600p.

FAO (Food and Agriculture Organization). *La extensión rural y el desarrollo del agro.* Santiago, Chile, FAO, 1987. 54p.

———. *Informe de los seminarios subregionales sobre formación y capacitación de profesionales de ciencias agrícolas para la extensión y el desarrollo rural en América Latina y el Caribe.* Santiago, Chile, FAO, 1988a. 13p.

———. *La formación de profesionales de ciencias agrarias por una agricultura en crisis.* Santiago, Chile, FAO, 1988b. 27p. (Serie Desarrollo Rural, 6.)

Fapesp (Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). *Relatório de atividades.* São Paulo, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico, 1991. 332p.

———. Relatório de atividades desenvolvidas pela Fapergs (em 1992). Porto Alegre, Secretaria da Ciência e Tecnologia, 1992. mimeog.

Ipef (Instituto de Pesquisas Florestais). *Jornal do Convênio.* Piracicaba, Ipef, edição especial, 1993. 12p.

Malavolta, E. As ciências agrícolas no Brasil. In.: Ferri, M. G. & Motoyama, S. (coords.). *História das ciências no Brasil.* São Paulo, USP, 1986. p. 105-49.

———. Solos e edafologia. In.: Peixoto, A. M.; Yamagushi, C. T. & Camargo Filho, A. M. (eds.). *Fealq — 10 anos de pesquisa agrícola*. Piracicaba, Fealq, 1987. p. 45-74.

Marchetti, D. A. B. Mecanização agrícola. In: Peixoto, A. M., Yamagushi, C. T. & Carmargo Filho, A. M. (eds.). *Fealq — 10 anos de pesquisa agrícola*. Piracicaba, Fealq, 1987. p. 127-38.

Mors, W. *P.B.D.C.T. — Pesquisa fundamental e pós-graduação — área de alimentos*. Brasília, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, MEC, 1974. 47p.

Packer, I. U. *Produção e melhoramento animal*. In: Peixoto, A. M.; Yamagushi, C. T. & Camargo Filho, A. M. (eds.). Piracicaba, Fealq, 1987. p. 85-98.

Pronapa. *Embrapa — 20 anos*. Brasília, Pronapa, *19*:1-394, 1993.

Pulin, R. S. V. Cichlids in aquaculture. In: Keenleyside, M. H. A. (ed.). *Cichlid fishes: behaviour, ecology and evolution*. London, Chapman & Hall, 1991. (Fisch and Fisheries Series, 2.)

Ruegger, W. U. S. Defensivos agrícolas: uma visão geral. *Informe GEP/DESP*. Piracicaba, Esalq/USP, *6*:8-9, 1993.

Schott, T. Performance, specialization and international integration of science in Brazil: changes and comparison with other Latin America and Israel. 1993. 73p. mimeog.

Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. *Relatório de atividades, 1991*. São Paulo, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária do Estado de São Paulo, 1992. 48p.

Silva, G. S. P.; Fonseca, M. A. S. & Martin, N. B. *Pesquisa e produção agrícola do Brasil*. São Paulo, Secretaria de Agricultura, Instituto de Engenharia Agrícola, 1979. (Relatório de Pesquisa, 17.)

Unesp (Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho). *Trabalhos científicos em andamento, 1992*. Botucatu, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1992a. 111p.

———. *Trabalhos científicos concluídos, 1991/1992*. Botucatu, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1992b. 137p.

Pesquisa e tecnologia militar

*Geraldo Lesbat Cavagnari Filho**

1. Introdução

A partir da I Guerra Mundial, a comunidade científica iniciou sua colaboração com o esforço de guerra das grandes potências. No intervalo entre as duas guerras mundiais, sua articulação com as forças armadas foi precária e lenta. No entanto, os estados-maiores das grandes potências já se haviam convencido da importância da pesquisa científica e tecnológica para as guerras futuras. Na II Guerra Mundial, a utilização racional da capacidade dos cientistas constituiu um salto qualitativo mediante o qual os militares tomaram consciência do caráter estratégico da ciência e da tecnologia. Os governos e os estados-maiores passaram, então, a depositar maior confiança nos cientistas e se convenceram de que eles poderiam desenvolver o potencial de destruição das Forças Armadas (Jungk, 1968:102-5).

A eficácia da *blitzkrieg*, de 1939 a 1940, provocou nos militares a tomada de consciência da importância da ciência e, sobretudo, da tecnologia na guerra moderna. Mas foi durante a Batalha da Inglaterra, e em face de um problema militar, que os cientistas foram convocados para o esforço de guerra, tendo em vista buscar soluções técnicas para a defesa (Wanty, 1968:62-3). Em julho de 1941, os ingleses declararam que a bomba atômica poderia ser construída antes do fim da guerra e o avanço britânico no campo nuclear induziu à decisão norte-americana de financiar sua construção. A partir de então, cientistas e técnicos se uniram aos militares no esforço de guerra. No entanto, as novas relações entre militares e cientistas só se materializariam no âmbito do Projeto Manhattan, que definiu o modelo de organização que viria a ser adotado, posteriormente, na pesquisa de natureza militar, principalmente nos grandes complexos científico-tecnológicos do pós-guerra (Menahem, 1977:64), transformando a C&T em um dos elementos essenciais da estratégia.

No período da Guerra Fria, os crescentes compromissos político-estratégicos das grandes potências passaram a exigir investimentos no aprofundamento dos conhecimentos científicos e tecnológicos, na medida em que novas armas passaram a avalizar aqueles compromissos no âmbito das relações internacionais. Embora também influenciada por considerações econômicas, a força motriz que impulsionou a P&D no campo militar foi de natureza política. Não há dúvida de

* Fundador e diretor do Núcleo de Estudos Estratégicos da Universidade Estadual de Campinas.

que as exigências da valorização do capital intervieram fortemente nas decisões de renovação dos contratos, mas as necessidades militares se afirmaram por causa das responsabilidades político-estratégicas das grandes potências. Foram os EUA os primeiros a perceber a importância da articulação das Forças Armadas com o sistema produtivo e com as universidades, criando um modelo que viria a ser adotado pelas demais potências e que consolidaria a P&D militar como o setor mais dinâmico do sistema de C&T em alguns países, principalmente no Brasil.

Após a II Guerra Mundial, os militares brasileiros tomariam consciência do caráter determinante da ciência e da tecnologia na composição da capacidade estratégica do país,[1] embora só na década de 60 tenha começado a se esboçar uma preocupação maior com ela no âmbito do Estado. A inexistência de uma política de C&T como objetivo do Estado explica, em parte, esse retardo. Embora intervindo nessa área, estimulando a institucionalização de certas atividades científicas e criando instituições, como o Conselho Nacional de Pesquisas, em 1951, a ação estatal foi eminentemente descontínua, na medida em que inexistiam estímulos, sob a forma de razões políticas e econômicas suficientes e necessárias para uma maior intervenção estatal na C&T, a não ser em casos específicos de alcance limitado.[2] Diante dessa realidade, os militares passaram a considerar seu esforço como o principal vetor das atividades científicas e tecnológicas do Estado, privilegiando a C&T como a variável estratégica mais importante tanto no processo de construção da capacidade estratégica quanto para o desenvolvimento do país. Acompanhar o avanço da fronteira científico-tecnológica mundial tornou-se uma obstinação para os militares brasileiros.

Através da C&T, os militares vislumbraram as possibilidades de obter resultados rápidos e decisivos nas operações militares e de manter uma contínua modernização das Forças Armadas, apoiada numa sólida indústria bélica nacional. Posteriormente, entusiasmados com o crescimento econômico do país e privilegiados por um regime político que concedia às Forças Armadas autonomia relativa no âmbito do Estado, passaram a considerar a pesquisa e o desenvolvimento não apenas como instrumento de modernização da força militar, tendo em vista a garantia de uma defesa autônoma para o Brasil, mas como um esforço decisivo para realização de uma finalidade maior: a construção da grande potência.

A grande potência passou a ser o referencial de todo o esforço científico-tecnológico militar. É claro que a organização de P&D no âmbito das forças singulares (Exército, Marinha e Aeronáutica) visa ao desenvolvimento de projetos exclusivamente militares, que contribuam para a modernização dessas forças. No entanto, são os seus principais programas de tecnologia avançada que indicam a direção desse esforço. Portanto, o programa nuclear autônomo, o programa espacial e o programa do avião subsônico não representam somente avanços no campo militar, mas passaram a ser considerados pelas Forças Armadas um salto qualitativo na direção da grande potência. Com a democratização do país e o fim da Guerra Fria, tornaram-se intensas as pressões, internas e externas, para bloquear a conclusão desses programas. Além da escassez de recursos e de alguma oposição interna aos programas, as relações tensas com os EUA, devido aos propósitos militares desses programas, viriam a constituir a maior dificuldade para a P&D militar.

Apesar dessas dificuldades, a obstinação militar em avançar nos domínios das tecnologias nuclear, espacial e aeronáutica ainda é significativa. Um dos motivos que têm estimulado a persistência dos militares na conclusão dos seus principais programas de P&D é a busca do prestígio do Brasil nas relações internacionais, ou melhor, o reconhecimento da força do país por outras potências. Além disso, há uma determinação militar para continuar participando e dirigindo parte considerável do desenvolvimento tecnológico brasileiro. Na visão militar, o domínio dos resultados da atividade científico-tecnológica tenderá a conferir poder às Forças Armadas.

Qualquer avaliação sobre a P&D militar deverá considerar, obrigatoriamente, a importância da construção da grande potência na reflexão estratégica dos militares; deverá, também, assinalar o significado que eles atribuem aos seus principais programas de desenvolvimento tecnológico e as pressões exercidas pelos EUA, permitindo identificar a dimensão do esforço científico-tecnológico militar e as premissas que devem ser consideradas na inferência das perspectivas da P&D militar.

Assim, para abordar esses aspectos essenciais à compreensão da P&D militar e de sua finalidade, este trabalho:

- analisa o referencial teórico adotado pelos militares para orientar o desenvolvimento nacional, sobretudo o científico-tecnológico;

- descreve a organização atual da pesquisa e desenvolvimento no âmbito das Forças Armadas;

- descreve e analisa, separadamente, os três principais programas de P&D militar: o programa nuclear autônomo, o programa espacial integrado e o programa de aeronáutica avançada;

[1] Vários são os fatores que concorrem para a capacidade estratégica, entre os quais se destacam: a base industrial, a capacitação científico-tecnológica, o controle dos recursos naturais, a integração social, a massa demográfica, a dimensão e a organização do espaço geopolítico nacional, a qualidade de vida da população e a força militar.

[2] Cf. Erber, F. S. Política científica e tecnológica no Brasil: uma revisão da literatura. *Resenhas de economia brasileira*. São Paulo, Saraiva, 1979, apud Buzato (1985:24).

• analisa a iniciativa tomada pelos EUA para exercer o controle tanto da atividade exportadora da indústria bélica quanto da P&D militar, através da cooperação militar bilateral;

• apresenta e analisa as principais dificuldades que concorrem para retardar o desenvolvimento dos programas de tecnologia avançada;

• analisa o significado estratégico desses programas segundo a visão militar;

• conclui com as perspectivas da P&D militar no sistema de C&T nacional.

2. O referencial teórico

A construção da grande potência continua sendo a intenção principal dos militares brasileiros.[3] Na visão militar, grande potência é a configuração futura do Estado desejável, do Estado com capacidade para conduzir qualquer guerra, em qualquer lugar, a qualquer momento e sob quaisquer circunstâncias, para garantir interesses vitais do Brasil, no contexto das relações internacionais. A partir do início da década de 70, o conceito de grande potência passou a ser considerado um dos principais referenciais teóricos do pensamento militar brasileiro.

A construção da grande potência foi-se afirmando, no pensamento militar brasileiro, como tarefa necessária porque seria a conseqüência natural de todo o processo de desenvolvimento nacional e realizaria expectativas historicamente frustradas: o Estado forte, a força militar bem-equipada e adestrada, o prestígio internacional, a coesão interna, o consenso ideológico e a sociedade industrial. O projeto da potência passou a ser a solução adequada às questões consideradas pendentes pelos militares: a consolidação da estabilidade interna e a inserção do Brasil, em uma posição privilegiada, nas relações de força mundiais. Mas, em nenhum momento, o pensamento militar dirigiu-se à realização da democracia no Brasil, atribuindo, assim, maior prioridade à construção da grande potência do que à construção da democracia, já que essa não lhes garantiria a estabilidade interna desejável, apoiada em uma sociedade civil disciplinada.

Em termos militares, o início do processo de construção da grande potência coincide com o início do processo de modernização da força militar brasileira, que proporcionou alguns avanços nos padrões de treinamento, com equipamentos bélicos modernos e a incorporação de tecnologias mais sofisticadas. No entanto, o dado mais significativo nesse processo foi o avanço na pesquisa e desenvolvimento militar, com resultados significativos alcançados com os programas militares de P&D, principalmente através do programa espacial integrado, do programa nuclear autônomo e do programa de aeronáutica avançada.

[3] O tema da "construção da grande potência" foi abordado pelo autor em três ensaios anteriores (Cavagnari Filho, 1987, 1989a e 1990).

A própria doutrina militar confere importância à ciência e tecnologia, ao admitir a influência dessa variável sobre ela, sobre os armamentos e sobre os efetivos (ESG, 1982) e, já na década de 60, deixava clara a necessidade de desenvolver a capacitação científico-tecnológica do país para fins militares.

Durante as décadas de 70 e 80, o desenvolvimento científico-tecnológico na área militar se orientou para a construção da grande potência. Para alguns setores militares (os que advogavam a posse da bomba nuclear), as necessidades estratégico-militares deveriam subordinar, em princípio, as necessidades científico-tecnológicas do país. Para eles, o desenvolvimento do componente militar da capacidade estratégica deveria acompanhar o ritmo do desenvolvimento social, econômico e científico-tecnológico reivindicado pela sociedade civil. Isso explica, em parte, por que as iniciativas militares no campo científico-tecnológico tiveram um caráter relativamente autônomo em relação à política científica e tecnológica nacional. Mas, de certo modo, todo o esforço já aplicado nesse campo contribuiu para elevar a competência tecnológica nos setores de interesse militar, seja através da importação de tecnologia altamente sofisticada de difícil ou demorada geração interna, seja através da criação de tecnologia própria e autônoma.[4] Além disso, concorreu para a implementação do processo de transferência, à indústria nacional, dos conhecimentos obtidos através dos programas de P&D militar, articulando de modo satisfatório esse sistema com o sistema produtivo interessado na produção bélica.[5]

Na visão militar, tanto a articulação da P&D com o sistema produtivo quanto sua inserção no processo de modernização da força militar desempenham um papel extremamente relevante. Não há nenhum plano diretor, de qualquer das três forças singulares, que não dê ênfase à continuidade da pesquisa e do desenvolvimento, tendo em vista a sofisticação do equipamento bélico, a nacionalização dos meios militares e a aquisição da capacidade de pronta resposta para a força militar. É por isso que, em todo o processo de modernização, destacam-se necessidades tecnológicas decisivas para cada força singular: na força naval, o submarino de propulsão nuclear; na força terrestre, os blindados e os meios de guerra eletrônica; na força aérea, o vetor de dupla finalidade (veículo lançador de satélites e míssil balístico). São meios bélicos considerados vitais para o preparo das Forças Armadas do século XXI.

[4] Tal iniciativa permitiu, em mais de duas décadas, estabelecer intercâmbio com os órgãos de P&D civis, na área de interesse da segurança nacional, obter recursos dos órgãos governamentais de desenvolvimento científico-tecnológico para os programas e projetos militares e encaminhar com relativo sucesso alguns programas de P&D militar.

[5] Algumas das empresas que articularam seu sistema produtivo com o de P&D militar: Embraer, Eletrometal, Tecnasa, Elebra, Isomonte, Moog do Brasil, Avibrás, Engesa, Petrobras, Metal Leve, Usiminas e Acesita.

Tanto a Aeronáutica quanto a Marinha são pioneiras na iniciativa de articulação com o sistema produtivo. As três forças procuram, na prática, realizar o processo de transferência de tecnologia, através de programas de nacionalização de componentes, processos e equipamentos e encomendar à indústria nacional produtos de alto grau tecnológico relativo, o que encerra em si uma real possibilidade de transferir tecnologia para o setor produtivo, ou através das especificações de contrato ou por meio de uma interação maior do pessoal técnico envolvido. Nesse aspecto, o sistema de P&D militar difere do restante do sistema científico-tecnológico administrado pelo Estado, onde não ocorreu, em grau satisfatório, a articulação com o sistema produtivo.

A política industrial sempre privilegiou a produção interna sem, contudo, atribuir ênfase ao controle sobre a tecnologia utilizada, ou mesmo sobre o capital, que é necessário ao controle dessa tecnologia (Nascimento, 1985:57). O Brasil se caracteriza, primeiro, por uma indústria que, por formação e situação objetiva, é estruturalmente dependente da tecnologia importada e, segundo, por uma política de ciência e tecnologia que produziu um sistema público de C&T, mas encontrou grandes dificuldades para superar sua distância em relação ao setor produtivo (Nascimento, 1985:62). O grande significado da P&D militar para o desenvolvimento nacional, além de sua continuidade, é que ela foi capaz de se articular com o setor produtivo, criar um patrimônio tecnológico e impor um modelo de gerência competente.

3. A organização da P&D militar

A política setorial militar no campo científico-tecnológico é formulada no nível de estado-maior de cada força, que conta com órgãos específicos para coordenar a sua execução: na Marinha, a Comissão de Ciência e Tecnologia da Marinha; no Exército, a Secretaria de Ciência e Tecnologia; na Aeronáutica, o Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento.

Como órgãos executivos da pesquisa e desenvolvimento na Marinha, têm-se: o Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), a Coordenadoria para Projetos Especiais (Copesp), o Centro de Análise de Sistemas Navais (Casnav) e o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira. No Exército, são: o Centro Tecnológico do Exército (CTEx), o Centro de Avaliação do Exército (CAEx) e o Instituto Militar de Engenharia (IME). A Aeronáutica conta, por sua vez, com os seguintes órgãos executivos: o Centro Técnico Aeroespacial (CTA), o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), o Centro de Lançamento de Barreira do Inferno (CLBI) e o Campo de Provas de Cachimbo. São integrantes do CTEx o Instituto de Projetos Especiais (IPE), o Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IPD) e o Campo de Provas da Marambaia. Integram o CTA o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e o Instituto de Estudos Avançados (IEA).

É importante mencionar o papel desempenhado por dois órgãos militares que não estão diretamente envolvidos nas atividades de P&D: a Empresa Gerencial de Projetos Navais (Engepron) e o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI). A Empresa Gerencial de Projetos Navais destina-se à captação de recursos no país e no exterior, colaborando nas seguintes atividades de interesse da Marinha: planejamento e fabricação dos meios navais, pela transferência de tecnologia; fomento à instalação de novas indústrias do setor naval, com assistência técnica e financeira; apoio técnico e financeiro das atividades de P&D naval; contrato de estudos, planos, projetos, obras e serviços, visando ao fortalecimento da indústria militar naval no território nacional. A criação da Engepron contornou um dos maiores obstáculos ao reaparelhamento da indústria naval brasileira — a obtenção de créditos externos — uma vez que ela dispõe de autonomia suficiente para negociar e contratar empréstimos em moeda estrangeira.

O Instituto de Fomento e Coordenação Industrial fomenta, coordena e apóia as atividades relacionadas com a metrologia e a homologação de empresas e de produtos aeroespaciais. É o órgão que atua como interface dos institutos de pesquisa e desenvolvimento da Aeronáutica com a indústria. Sua atividade é caracterizada por uma permanente preocupação em detectar oportunidades e carências, analisá-las, propor soluções e nelas procurar interessar organizações, estatais ou privadas, cumprindo sua responsabilidade de fomentar, coordenar e apoiar a indústria aeroespacial brasileira.

O Instituto de Pesquisas da Marinha realiza atividades de pesquisa e desenvolvimento, tendo em vista a obtenção de sistemas, equipamentos, componentes, materiais e técnicas que possam ser utilizados pela Marinha. Alguns dos projetos já executados, ou em execução, são o sistema de navegação inercial, o foguete de despistamento, a mina de fundeio e contato, o equipamento de contramedidas eletrônicas, o propelente de alto teor energético e o sistema de controle tático.[6] Os projetos na área de informática e microeletrônica são desenvolvidos no Centro de Análise de Sistemas Navais, destinado a ser o mais importante pólo de

[6] As informações sobre o IPqM foram fornecidas pela direção do próprio instituto. O sistema de navegação inercial fornece latitude, longitude e velocidade de um veículo, baseado apenas em informações de seus sensores inerciais, dispensando informações externas (por exemplo, de satélites, de estrelas). É vital para um submarino que necessita permanecer oculto. O foguete de despistamento permite o lançamento pelo navio de uma nuvem de *chaff* a distâncias variáveis, com o propósito de prover uma proteção eficaz contra o ataque de mísseis orientados por reflexão de radar. A mina de fundeio e contato é empregada contra navios e submarinos na defesa do litoral, podendo ser utilizada em águas com profundidade de 10 a 100m. O equipamento de contramedidas eletrônicas está sendo desenvolvido para fazer parte do sistema integrado de guerra eletrônica das corvetas da classe Inhaúma. O propelente de alto teor energético substitui as chamadas "pólvoras de base dupla", devido à sua maior densidade energética, melhores características mecânicas e maior segurança durante a fabricação. Na etapa inicial do seu desenvolvimento estão incluídas aplicações práticas no motor do foguete de despistamento (foguete *chaff*). O sistema de controle tático visa configurar e apresentar ao operador, em tempo real, o cenário tático em questão.

desenvolvimento de *software* militar existente no país. Nele já foram desenvolvidos sistemas de simulação tática e de treinamento, sistemas de controle tático e sistemas e equipamentos associados de contramedidas eletrônicas para bloqueio de radares e sonares. A Coordenadoria de Projetos Especiais, por sua vez, é responsável pela execução do Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear.

De todos os órgãos de pesquisa e desenvolvimento, o que tem mais tradição e produziu maiores resultados concretos é o Centro Técnico Aeroespacial. Importantes empresas como a Embraer, a Eletrometal e a Tecnasa nasceram ou se desenvolveram com o seu apoio. Na área do CTA são vários os projetos em desenvolvimento. No IAE, são os seguintes: fibra de carbono, grafite de alta massa específica e pureza controlada, cerâmicas especiais, sistema imageador infravermelho, equipamento alerta-radar, aeronave não-tripulada, helicóptero de ataque e os projetos relativos à família Sonda e o respectivo propelente, além dos relativos ao campo da meteorologia e ao desenvolvimento de armamentos e munições de interesse da Aeronáutica. O desenvolvimento de tecnologias avançadas está a cargo do IEA, em especial nas áreas de física de altas e baixas energias, de energia nuclear, laser e informática, e são os seguintes os principais projetos: acelerador linear de elétrons, transceptor a laser no infravermelho, telêmetro a laser no infravermelho e giroscópios óticos.[7] Além disso, o CTA é o responsável, através do IAE, pelo projeto militar da Missão Espacial Completa Brasileira e pelo Programa AMX.

Entre as três forças singulares, houve uma distribuição de tarefas no campo da pesquisa e desenvolvimento nuclear. A Marinha ficou com o enriquecimento de urânio por ultracentrifugação e com a construção do reator para submarinos nucleares. O Exército, através do CTEx, deu início à construção de um reator de urânio e grafite, que pode servir à produção de plutônio. A Aeronáutica, por sua vez, incumbiu-se do enriquecimento de urânio a laser e do desenvolvimento do reator rápido regenerador. A existência desses três programas nucleares paralelos deve-se à conclusão a que chegaram determinados setores militares de que o Acordo Nuclear com a Alemanha não realizaria transferência de tecnologia nuclear, conforme a intenção inicial. A etiqueta "paralelo" deveu-se ao fato de as iniciativas terem-se desenvolvido à margem daquele acordo e da fiscalização da Agência Internacional de Energia Atômica, que controla a produção e a disseminação de materiais nucleares no mundo. Dos três programas paralelos, o mais

[7] Ver palestra proferida pelo diretor do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento do Ministério da Aeronáutica, em 1989, na ESG. O acelerador linear de elétrons, quando pronto, será a máquina fornecedora de dados para os projetos de sistemas nucleares de geração de energia para satélites e naves espaciais do futuro, como o gerador termoelétrico a radioisótopo e o reator nuclear espacial, que estão em fase de estudos preliminares. O transceptor a laser no infravermelho é de grande interesse em comunicações sigilosas, e o telêmetro a laser no infravermelho é usado em blindados e aeronaves.

bem-sucedido é o da Marinha — o Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, gerenciado pela Coordenadoria para Projetos Especiais.[8]

4. O programa nuclear autônomo

A Copesp desenvolve em 1993 o projeto mais ambicioso da Marinha brasileira. O Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear recebeu o codinome de Programa Chalana.[9] Ele se compõe de um conjunto de atividades com o propósito de desenvolver no país uma planta nuclear de propulsão de submarinos e o combustível necessário. É, não há dúvida, um programa de longa duração, que visa equipar a força naval de submarinos com propulsão nuclear com alto grau de componentes nacionalizados. Inicialmente, abrangia quatro projetos: Zarcão, Ciclone, Remo e Costado. O Projeto Zarcão, concluído em 1982, permitiu o domínio da tecnologia de obtenção de zircônio e háfnio nuclearmente puros. O Projeto Ciclone, concluído em 1986, conduziu ao desenvolvimento de ultracentrífugas para obtenção de urânio enriquecido e ao seu emprego conjunto em cascata em uma usina de enriquecimento, visando garantir o combustível necessário ao submarino nuclear fora das salvaguardas internacionais. Está previsto, na fase industrial, o enriquecimento isotópico de urânio a 20%, a fim de possibilitar sua utilização na medicina e na agricultura.

Estão ainda em desenvolvimento os Projetos Remo e Costado, o primeiro voltado para a construção de uma planta de propulsão nuclear, do tipo PWR, de pequenas dimensões, a ser instalada em um submarino. Devido a dificuldades para garantir os recursos necessários para o seu desenvolvimento, não está ainda concluído, como pretendia a Copesp. Em conseqüência, o Projeto Costado, que visa a adaptação de um projeto de submarino convencional para propulsão nuclear, permanece inconcluso.

O programa teve início em fins de 1978, com uma decisão ministerial envolvendo a Marinha em um programa de desenvolvimento da propulsão nuclear para submarinos,[10] baseada na premissa de que, no evento de uma confrontação, a força naval que não estiver dotada do submarino nuclear ficará em flagrante inferioridade diante do adversário que possuir esse vetor, o que, de resto, foi confirmado na Guerra das Malvinas. Além disso, a propulsão nuclear aplicada a sub-

[8] Sobre esse programa, ver: Exposição de Motivos nº 0080/79, do ministro da Marinha ao presidente da República, solicitando autorização para iniciar no país um programa de desenvolvimento nuclear; Exposição de Motivos nº 0080/82, na qual a Secretaria-Geral do Conselho de Segurança Nacional, o Ministério da Marinha e o Ministério da Aeronáutica definem as áreas de atribuição de cada organização de pesquisa e desenvolvimento das forças singulares no campo nuclear; *Apresentação resumida do programa nuclear da Marinha*, documento que serviu de subsídio à exposição feita pela Diretoria Geral do Material da Marinha ao Almirantado, em 9 mar. 1987. Ver Cavagnari Filho (1989b).

[9] Ver as fontes citadas na nota 8.

[10] Idem.

marinos constitui uma evolução necessária, na visão militar, para a Marinha entrar no século XXI com um menor atraso tecnológico em relação aos países desenvolvidos.

Inicialmente houve recusa, por parte do Conselho Nacional de Energia Nuclear (Cnen), da Secretaria-Geral do Conselho de Segurança Nacional e do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), em participar do programa. No entanto, o Cnen e a secretaria-geral viriam a ser suas principais fontes de financiamento, e o Ipen se tornaria sua principal instituição de pesquisa e desenvolvimento civil.[11] Mais tarde incorporam-se a ele empresas privadas nacionais, como a Metal Leve, a Elebra e a Eletrometal, entre outras.

O programa deverá contribuir para o desenvolvimento da capacitação científico-tecnológica nacional e para a integração de esforços aproveitando competências já estabelecidas em instituições de pesquisa nacionais. Os recursos humanos qualificados a ser usados no programa estavam relativamente ociosos. O Ipen, por sua vez, há cerca de 16 anos vinha produzindo, em pequena escala, radioisótopos para uso na medicina e na indústria em seu reator experimental, funcionando em tempo parcial para poupar combustível, que era negado, então, ao Brasil no mercado internacional. Com a criação recente do Centro Experimental Aramar, essa produção deverá ser aumentada.

Em função dos resultados alcançados, o programa conta com instalações novas e mais apropriadas em Iperó, município do estado de São Paulo, no Centro Experimental Aramar. Com ele, a Copesp dispõe de um centro de pesquisas avançado, capaz de desenvolver a tecnologia nuclear em escala industrial e o protótipo do reator para o submarino nuclear.

Com o propósito de construir o submarino de propulsão nuclear, todo um conjunto de tecnologias está sendo desenvolvido, sob a gerência da Copesp, no Centro Experimental Aramar, destacando-se a de enriquecimento de urânio, a de fabricação do combustível, a do reator nuclear e a de instalação da propulsão. Para chegar ao submarino nuclear, a Marinha executa outro projeto no Arsenal da Marinha do Rio de Janeiro, que visa ao domínio da tecnologia do submarino convencional. Para tanto, ela incorporou à sua frota o primeiro submarino convencional de tecnologia avançada, o *Tupi*, com oito tubos de torpedos, construído na Alemanha, da classe IKL-200-1400, de propulsão diesel-elétrica. Ele servirá de modelo para a construção de mais três submarinos convencionais: o *Tamoio*, o *Timbira* e o *Tapajós*. Depois desses três, a Marinha construirá, sucessivamente, dois submarinos de projeto nacional: o SNAC 1, que será o primeiro submarino convencional, e o SNAC 2, dotado de propulsão nuclear e armado de torpedos e mísseis de alcance tático. Na primeira década do próximo século a Marinha espera dispor de um submarino nuclear de ataque.

[11] Ver as fontes citadas na nota 8.

O esforço na construção do submarino nuclear brasileiro processa-se em três áreas tecnológicas: o submarino em si, o sistema de armas (torpedos e mísseis táticos) e a propulsão nuclear. O domínio da tecnologia do submarino convencional é a etapa prévia e já se iniciou. Também já está sendo desenvolvido o sistema de armas, cuja tecnologia dificilmente será transferida para o Brasil. A propulsão nuclear — que impõe o domínio da tecnologia do combustível, do reator, dos equipamentos de máquinas e a de controle de um sistema nuclear de potência naval — é a área tecnológica mais adiantada para construção do submarino.

Até 31 de dezembro de 1992, já tinham sido gastos no Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear cerca de US$566 milhões e atingido um índice de nacionalização de aproximadamente 86%.[12] O orçamento para 1993 é de US$76 milhões. Estima-se que o programa todo deverá custar cerca de US$900 milhões. Se forem consideradas a aquisição do submarino *Tupi* e a construção de mais três convencionais (*Tamoio*, *Timbira* e *Tapajós*) e de dois submarinos de projeto nacional (SNAC 1 e SNAC 2), o custo total deverá ser da ordem de US$2,5 bilhões, em 20 anos de atividades de pesquisa e desenvolvimento.[13]

Atualmente estão em vigência seis convênios da Marinha com a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).[14] No entanto, para o Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, é significativo o Convênio 752-0004/91, que teve a sua primeira fase concluída em dezembro de 1991. O relatório técnico elaborado pela Área Interdisciplinar de Planejamento de Sistemas Energéticos, do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp (Unicamp, 1991), contém um informe detalhado sobre a situação energética brasileira e suas perspectivas até o próximo século.[15] Ele

[12] De acordo com a declaração do contra-almirante Othon Luís Pinheiro da Silva à Assembléia Legislativa do estado de São Paulo, publicada na *Folha de S. Paulo*, edição de 11 mar. 1993.

[13] Nesse cálculo, foram considerados o custo de US$900 milhões do Programa Chalana, o custo unitário de US$180 milhões de cada submarino IKL-200-1400 e o custo aproximado de US$880 milhões dos SNAC-1 e SNAC-2 (ver as fontes citadas na nota 8.)

[14] São os seguintes os convênios da Marinha com a Unicamp: Convênio 00-01047/87 – para executar projetos pertinentes ao Plano Setorial para os Recursos do Mar e ao Programa Antártica Brasileira, com o objetivo de pesquisar fontes emissoras de raios gama de altíssima energia, através da detecção de radiação Cerenkov na região polar; Convênio 4554/89 – cujo objetivo é estabelecer ampla cooperação entre a Marinha e a Unicamp no desenvolvimento tecnológico e no preparo do pessoal, a partir de projetos a serem desenvolvidos; Convênio 752-0004/91 – que se refere à realização de um estudo preliminar sobre a situação atual do setor elétrico brasileiro; Convênio 01-01892/92 – cujo objetivo é realizar pesquisas na área de ciência e tecnologia de vácuo, materiais e recursos humanos; Convênio 01-2648/92 – que visa iniciar a cooperação da Unicamp com o IPqM; Convênio 01-834/92 – cujo objetivo é permitir a presença de servidores militares e civis da Marinha em cursos de pós-graduação e atividades correlatas na Unicamp.

[15] No entanto, em 10 de março de 1993, pressionada pelos politicamente "corretos", a Unicamp suspendeu os estudos sobre a viabilidade de instalação de pequenas centrais nucleares no país, encomendados pela Copesp. Na primeira fase dos estudos, foram mapeados os lugares do território nacional adequados à instalação dessas centrais. A segunda fase está suspensa até que a Copesp exponha seus propósitos e abra discussão sobre elas.

analisa a viabilidade técnica e econômica da implementação de pequenas centrais nucleares, em três categorias de capacidade instalada — de 10 a 50, de 100 a 300 e de 400 a 600MW —, recomendando a utilização de capacidade instalada diferencial, tendo em vista a regionalização, tanto para sistemas isolados quanto para sistemas interligados. Nos sistemas isolados, admite a possibilidade de composições entre pequenas centrais nucleares e pequenas centrais hidrelétricas, aquelas operando em regime de complementação térmica dessas, e admite também a mesma possibilidade entre essas centrais nucleares e turbinas a gás, de modo que as primeiras atendam a base e as últimas, a ponta da curva de carga do sistema. Nos sistemas interligados, as regiões Sudeste e Nordeste são as que apresentam as condições mais favoráveis para a implantação de pequenas centrais nucleares, no início do próximo século (Unicamp, 1991:161-2).

A iniciativa da Marinha no programa nuclear torna explícita uma intenção não-revelada no seu planejamento inicial: a utilização da tecnologia, desenvolvida na planta de propulsão nuclear para o submarino, no desenvolvimento de reatores nucleares que possam ser utilizados na produção de energia elétrica. Isso poderá vir a gerar recursos necessários à construção do submarino nuclear, justificando também a finalidade civil do Centro Experimental Aramar.

5. O programa espacial integrado

No final da década de 70, por proposta da Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae), o governo aprovou a criação da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), com o objetivo de adquirir capacitação tecnológica, industrial e gerencial no campo das atividades espaciais para o país.[16] Três argumentos concorreram para sua criação. O primeiro foi sua utilidade imediata, já que o país poderia conquistar autonomia tecnológica na obtenção de imagens de sensoriamento remoto e de dados meteorológicos, eliminando a dependência dos serviços prestados, mediante pagamento, por satélites europeus e norte-americanos. Assim, o Brasil teria autonomia, controle e ampla aplicação do uso de satélites nacionais em mapeamento geológico, serviços para agricultura, pesquisa florestal, controle de desmatamento, pesquisa de recursos minerais, uso da terra e análise ambiental, entre outras necessidades.

O segundo argumento está relacionado com o impacto dessa iniciativa no parque industrial brasileiro e no próprio padrão tecnológico nacional, possibilitando a produção e a comercialização de novos produtos e a obtenção de excelência máxima em vários setores da produção de componentes e equipamentos de

[16] Em 1977, a Cobae realizou o I Seminário de Atividades Espaciais, onde se esboçou a concepção básica de um programa espacial amplo e integrado, que abrangesse o desenvolvimento da tecnologia de satélites e de seus veículos lançadores e a construção de campos de lançamento dos mesmos. Nascia, assim, a MECB, oficialmente aprovada em 1980.

alta precisão. Os novos padrões de qualidade e suas experiências e testes, em laboratórios sofisticados, seriam extensivos a vários ramos da indústria nacional, contribuindo para torná-la mais competitiva e próxima dos níveis exigidos pelo mercado internacional.

O terceiro argumento tem a ver com o próprio interesse militar, empenhado na conquista de maior autonomia tecnológica e maior controle no sistema de comunicações e de informações qualificadas, e na capacitação tecnológica e industrial na produção de mísseis de alcance cada vez mais amplo, através do desenvolvimento do veículo lançador de satélites. Nesse caso, estaria assegurado o domínio de tecnologias avançadas, por exemplo, a dos combustíveis (sólido e líquido), a do sistema de guiagem e controle e a de resistência de materiais, entre outras.

Definido o objetivo e feita a opção por um programa essencialmente brasileiro, com um custo previsto de cerca de US$1,1 bilhão para um período de 13 anos, estabeleceram-se as atribuições das diferentes agências.[17] Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) coube a responsabilidade pelo desenvolvimento de dois satélites de coleta de dados (SCD-1 e SCD-2) e de dois de sensoriamento remoto (SSR-1 e SSR-2), e pelas instalações do segmento de solo, destinadas ao controle e à recepção das informações enviadas pelos satélites. Ele se responsabilizou, também, pelo desenvolvimento da plataforma de coleta de dados, que são balizas instaladas em terra com a finalidade de enviar, automaticamente, dados ambientais para os satélites de coleta de dados. Ao CTA foi atribuída a responsabilidade pelo desenvolvimento e fabricação do veículo lançador de satélites (VLS) e pela constituição do Centro de Lançamento de Alcântara (Cobae/Emfa, 1992:81).

O veículo lançador de satélites deverá surgir como produto final do desenvolvimento dos foguetes da família Sonda, onde cada modelo incorpora a tecnologia da experiência anterior.

No âmbito militar, maior importância tem sido dada ao veículo lançador de satélites do que ao próprio satélite. Explica-se: o veículo poderá vir a ser um míssil balístico de alcance médio. Sua construção requer o domínio das tecnologias de estrutura, de propulsão, de guiagem e do veículo de reentrada. Se a estrutura deve atender à capacidade do veículo de suportar os esforços de uma decolagem pesada e de um vôo hipersônico, a propulsão depende da escolha do tipo de propelente a usar (sólido ou líquido). O sistema de guiagem é o maior desafio tecnológico, isto é, obter autonomia e capacidade de acerto a longa distância são os objetivos essenciais. Para isso, é necessário o domínio de um sistema de guiagem inercial, da micromecânica, da microeletrônica, dos materiais especiais e dos

[17] Em 1979, a Cobae realizou o II Seminário de Atividades Espaciais, quando se buscou uma decisão a partir das opções apresentadas. Uma delas privilegiava o desenvolvimento do programa mediante uma associação franco-brasileira. Mas a decisão tomada viria a optar pelo programa essencialmente brasileiro (Lobo, 1989a:4).

microcomputadores de bordo, entre outros. Um sistema de guiagem de um míssil qualquer é, funcionalmente, quase idêntico ao de um veículo lançador de satélites: o primeiro é apenas um pouco mais sofisticado, para permitir uma maior margem de acerto no alvo a grandes distâncias. O veículo de reentrada, por sua vez, deve proteger suficientemente a carga de bordo. Não é uma tecnologia sofisticada, especialmente para os vetores de curto alcance, que não exigem grande acurácia.

As estruturas, por sua vez, devem suportar bem os impactos da decolagem e do vôo hipersônico, e para isso os avanços no domínio da tecnologia de materiais são significativos. Ao longo do projeto, foi desenvolvida uma qualidade de aço ultra-resistente, com a participação da Eletrometal, da Usiminas e da Acesita — que continuam produzindo e exportando esse material —, e foram desenvolvidas ligas especiais de bronze e alumínio, agora produzidas e exportadas pela Termomecânica (Lobo, 1989a:87). O resultado de todo esse esforço já proporcionou ao país a aquisição de boa capacidade sistêmica, através dos setores siderúrgico, metalúrgico, químico e petroquímico. Aliás, não houve maiores dificuldades para se chegar às especificidades exigidas pelos materiais utilizados nas estruturas do veículo lançador de satélites.

Quanto ao combustível, a opção foi pelo propelente sólido, já que o veículo lançador de satélites também será utilizado como míssil balístico, segundo intenção explícita da Aeronáutica. O sólido guarda várias semelhanças com os explosivos de alta energia e seu sistema de combustão na estrutura interna do vetor (VLS ou míssil) é mais simples, não dependendo de partes móveis e operações automáticas simultâneas dos motores, que devem ser mais resistentes a temperaturas elevadas, à erosão, à abrasão e à corrosão provenientes da queima do próprio combustível (Menezes, 1988:139). O propelente líquido, por sua vez, exige bombeamentos, válvulas, controladores, injetores, tornando muito mais complexa a operação de combustão. Não há dúvida de que ele tem um desempenho ligeiramente superior ao sólido, mas as exigências para seu uso são mais complexas. Do ponto de vista militar, o combustível sólido é o ideal para pronta utilização em caso de emergência — por exemplo, um ataque inesperado de algum inimigo —, devido à sua capacidade de permanecer instalado no vetor por longo tempo sem perder suas especificações, enquanto o líquido requer abastecimento pré-lançamento, o que pode dificultar uma operação militar de pronta resposta. Assim, feita a opção, o domínio completo da tecnologia de produção e a nacionalização dos componentes foram obtidos com o combustível sólido.[18] Além disso,

[18] Depois do desenvolvimento do propelente (à base de perclorato de amônia), no Instituto de Aeronáutica e Espaço do CTA, a produção foi transferida à iniciativa privada. Com a obtenção do perclorato de amônia, chegou-se ao ácido perclórico (antes importado), que é essencial em qualquer laboratório químico. Outros produtos foram obtidos no processo, como a resina plástica do polibotodiene, desenvolvida conjuntamente com a Petrobras, que hoje produz mil toneladas/ano para os mercados interno e externo (Lobo, 1989a:87).

a MECB já conta com uma usina industrial com capacidade para carregamento dos motores do VLS.

O sistema de guiagem destina-se a dar autonomia e capacidade de precisão a longa distância ao vetor, constituindo-se em um complexo conjunto de minissistemas inerciais, do domínio da microeletrônica, da micromecânica e dos microcomputadores de bordo. Essa é a parte com maiores dificuldades de conclusão, apesar de todas as suas fases estarem em andamento. A plataforma inercial está em processo de ligação e de testes dos circuitos eletrônicos. Os computadores de bordo estão sendo desenvolvidos com relativo êxito a partir de um modelo nacional e com equipamento fornecido por empresas brasileiras (Cobae/Emfa, 1992:14).

O CTA desenvolve, em colaboração com uma empresa privada, um banco de controle do VLS. Devido à insuficiência de recursos, a mesa de lançamento e as torres umbilicais também serão fabricadas no próprio CTA, ao mesmo tempo em que estão sendo tomadas as primeiras providências para montar uma estação semimóvel, com um radar de rastreamento, um radar de telemetria e um sistema de telecomunicações, destinados a acompanhar o foguete na fase avançada de sua trajetória (Cobae/Emfa, 1992:14-5).

Como os veículos lançadores de satélites são foguetes de grande porte, por questões de segurança, o Centro de Lançamento de Barreira do Inferno (localizado em Natal, RN) foi considerado inadequado, iniciando-se a construção do Centro de Lançamento de Alcântara (MA). Para a Cobae, o Centro de Lançamento de Alcântara virá a ser um "cosmódromo" de características internacionais, para onde poderão convergir artefatos fabricados em outros pontos do território nacional e no exterior, para se submeter à montagem final, aos testes de pré-lançamento, ao lançamento propriamente dito e aos posteriores controle e rastreio (Cobae/Emfa, 1992:15). Além de dotar o país de uma base de lançamento sofisticada para atender às atuais e às futuras exigências de suas atividades espaciais, o centro poderá também ser utilizado comercialmente por outros países. O custo total estimado de sua instalação é da ordem de US$215 milhões, dos quais já foram gastos US$160 milhões (Cobae/Emfa, 1992:15).

As instalações do Centro de Lançamento de Alcântara estão em fase avançada de construção. O setor de meteorologia já está com o prédio concluído e os equipamentos funcionando. O radar meteorológico, de projeto e construção nacionais, estava sendo produzido pela Tecnasa. Quanto ao setor de preparação de lançamentos, a plataforma deverá estar concluída no final de 1993. O setor de controle de satélites está em fase de conclusão, com a antena de rastreio de satélites já instalada. O sistema de teledestruição, que se destina a promover a destruição de vetores que se desviam da trajetória e ultrapassam os limites de segurança, está sendo instalado. Além disso, numerosas obras de infra-estrutura estão sendo executadas em Alcântara (Cobae/Emfa, 1992:6).

Em 1993, foi colocado em órbita o primeiro satélite de coleta de dados (SCD-1),[19] com a missão de recolher informações sobre a situação das águas de hidrelétricas, a altura das marés, o teor de gás carbônico e a variação de temperatura nas florestas, através de pequenas estações terrestres espalhadas no território nacional, para transmiti-las a uma estação central de recepção localizada em Cuiabá (MT). O lançamento do segundo satélite (SCD-2) está previsto para 1994. Quanto aos dois satélites de sensoriamento remoto (SSR-1 e SSR-2), que completariam uma etapa da MECB, ainda se encontram em fase de desenvolvimento, com previsão de lançamento, respectivamente, para 1996 e 1997.

Não há dúvida de que o programa espacial só estará completo se for efetivado o lançamento de satélites brasileiros através de foguetes próprios. O desenvolvimento do foguete brasileiro enfrenta dificuldades tecnológicas e de recursos financeiros, além de sofrer pressão dos países que dominam essa tecnologia, entre eles os EUA, a França e a Inglaterra. Uma das razões do atraso é o boicote imposto ao Brasil, em 1987, por esses países. Argumentando que o Brasil estava interessado no desenvolvimento de um míssil de longo alcance, esses países negaram-se a transferir tecnologia e vender componentes. Na realidade, a intenção subjacente a essa atitude é dificultar o acesso do Brasil ao mercado futuro de lançamento de satélites de pequeno porte. Mas o sucesso do lançamento do SCD-1 reforça as pretensões do Brasil de disputar o mercado internacional de lançamento de pequenos satélites, que é um objetivo a curto prazo. A entrada do país nesse mercado está dependendo agora da conclusão do VLS e do Campo de Lançamento de Alcântara, cujo custo está estimado em US$80 milhões (Capozoli, 1993).

Esse tipo de projeto poderá conduzir ao engajamento definitivo da indústria brasileira no campo aeroespacial. Algumas razões concorrem para isso. Os índices de nacionalização são significativos: 15% do SCD-1, 85% do SCD-2 e 95% do VLS. As atividades de construção e fabricação inerentes à Missão Espacial Completa Brasileira, por sua vez, apontam para a necessidade do envolvimento de empresas industriais à medida que o projeto evolui. Além disso, esse projeto consolidará a participação brasileira na construção e operação de sistemas espaciais e a utilização mais difundida de suas aplicações, induzindo o país ao prosseguimento das atividades de pesquisa, desenvolvimento, engenharia, fabricação e comercialização na área espacial (Pasqualucci, 1986:52).

[19] O SCD-1 foi colocado em órbita em 10 de fevereiro de 1993, pela Orbital Sciences Corporation. Ele foi lançado de cabo Canaveral (Flórida, EUA), por um foguete Pegasus, disparado a 12.000m de altitude e acoplado ao bombardeiro B-52 da Nasa. Custou US$20 milhões, e as despesas de lançamento, US$14 milhões. O SCD-1 tem a forma de um cilindro de 145cm de altura e 115kg de peso, e está equipado com células fotovoltaicas capazes de gerar 70W no espaço, o equivalente a uma lâmpada de potência média. Sua estabilidade é dada por um movimento de 160 giros por minuto em torno do próprio eixo. Numa altitude de 760km, dará um giro em torno da Terra a cada 98 minutos, à velocidade de 27 mil quilômetros horários (*O Estado de S. Paulo*, 29 dez. 1992, 7 jan. 1993, 9 fev. 1993, 10 fev. 1993, 11 fev. 1993 e 12 fev. 1993).

6. O programa de aeronáutica avançada

O Programa AMX nasceu, em 1977, da necessidade sentida pela Itália de renovar os meios operacionais de sua força aérea. A aeronave AMX viria a complementar esses meios, somando-se às possibilidades táticas dos F-104 e Tornado, que continuariam em uso.[20] Por essa época, o Brasil desativava velhas aeronaves, ficando a sua força aérea privada de aviões capazes de executar missões de penetração profunda em território inimigo. Tomando conhecimento das características técnicas do projeto italiano, a Aeronáutica concluíra que, com algumas alterações, ele poderia servir para o Brasil. Assim, Brasil e Itália concordaram em desenvolver em conjunto o Programa AMX, cujos objetivos foram definidos em exposição de motivos de dezembro de 1980:

• formação de uma frota de aviões modernos, de ataque, com raio de ação superior a 1.000km, levando 4 mil libras de carga bélica, para a força aérea;

• capacitação tecnológica da indústria aeronáutica nacional, que lhe permita construir aviões militares complexos e, assim, colocar-se na vanguarda das indústrias aeronáuticas mundiais;

• criação de um programa economicamente viável, complementado por um alto potencial de exportação, capaz de ativar a indústria aeronáutica e as múltiplas indústrias associadas, com duração de mais de 10 anos.[21]

Para o Ministério da Aeronáutica apresentava-se a alternativa: ou recorrer ao mercado internacional para adquirir, em curto prazo, as aeronaves de que necessitava para o cumprimento de sua missão; ou integrar-se em algum programa em que pudesse participar diretamente do desenvolvimento e produção de aviões. A opção pelo primeiro termo da alternativa reeditaria a compra dos "pacotes" impingidos pelas potências militares, mantendo uma dependência abrangente — dos aviões, do suprimento de peças e componentes, da manutenção e da assistência técnica —, que em nada (ou pouco) contribuiriam para o desenvolvimento

[20] Em 1968, a Itália integrou, juntamente com a Inglaterra e a Alemanha, o projeto do caça Tornado, com a participação de apenas 12% no desenvolvimento e produção da aeronave, que seria incorporada às forças da Otan. Essa experiência foi responsável por um impacto considerável no desenvolvimento industrial e tecnológico no setor aeronáutico italiano, permitindo à Itália liderar, em menos de uma década, novo projeto: o do caça-bombardeiro subsônico AMX.
[21] Ver palestra proferida pelo diretor do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento do Ministério da Aeronáutica, em 1989, na ESG, cit.

tecnológico do país. Já a opção pelo segundo termo da alternativa significaria razoável redução da dependência externa, embora com o risco de reequipar a força aérea a longo prazo (Lobo, 1989b:3-4).

Em 1979 e 1980, foi desenvolvido um intenso trabalho com as autoridades italianas e com as indústrias envolvidas — Aeritalia (atual Alenia), Aermacchi e Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. (Embraer) —, com o objetivo definir interesses e requisitos militares no âmbito do governo e integrar conhecimentos no âmbito industrtial, através de uma associação. Com a compatibilização dos objetivos e verificação das capacidades e especificações técnicas, o Programa AMX foi formalizado em 1980, na seqüência de um acordo de cooperação técnica entre o Brasil e a Itália, que já existia desde 1977 (Lobo, 1989b:5).

A opção pelo AMX foi feita para atender aos requisitos operacionais básicos de um avião de ataque, e não de um interceptador. Embora concebido para complementar atividades de combate no teatro de operações europeu, ele dispõe de características válidas para o teatro de operações sul-americano. Para a Aeronáutica, levando-se em conta o nível de atualização da aeronave e sua missão primária, não havia, à época, no mercado mundial, qualquer vetor em sua categoria com grau de otimização igual ao dele. Ele ainda continua sendo um avião de tecnologia avançada, que satisfaz às necessidades brasileiras nas missões para as quais foi planejado o caça-bombardeiro subsônico: apoio e ataque ao solo.[22]

A produção do AMX obedece a uma divisão de trabalho entre as três empresas que participam do programa, onde cada uma é responsável por determinada parte do avião, seja ele montado no Brasil ou na Itália. O mesmo critério é válido para os aviões que forem exportados, ou seja, cada empresa participa da venda proporcionalmente à parte que produz. A Alenia (ex-Aeritalia) é responsável pela maior parte do avião (45%), cabendo-lhe a fuselagem central e a cabine de comando. A Aermacchi fabrica o "nariz" do avião e suas engrenagens (25%), e à Embraer cabem as asas, as entradas de ar, os estabilizadores, o tanque de combustível e o trem de pouso, que correspondem a 30% do avião.

A partir de 1981, definidas as especificações para cada teatro de operações — europeu e sul-americano —, foi desenvolvido o AMX, com todos os ensaios,

[22] O AMX foi projetado para voar à noite a baixíssima altitude e conta com uma navegação extremamente precisa, controlada por um computador. É um avião com 32 computadores, sendo dois centrais, aparelhagem de reconhecimento aerofotográfico e de infravermelho, um telêmetro-radar e um radar extremamente complexo e moderno para ataque a navios. Tem a capacidade de se defender de mísseis antiaéreos e de mísseis infravermelhos, contando com uma quantidade notável de equipamentos eletrônicos de autodefesa, uma vez que deverá operar em teatros de operações altamente perturbados do ponto de vista eletromagnético. Suas características e especificações técnicas: peso (vazio), 6t.; peso máximo de decolagem, 11,5t; comprimento, 13,5m; largura total das asas, 10m; motor, Rolls Royce Spey MK-807, *turbofan*, 5kg de empuxo; velocidade máxima, 1.100km por hora; raio de ação de combate, 450km; armamentos, canhões Defa-553 de 30mm, dois mísseis nas asas, bombas de 250 e 500kg e foguetes (Mello, 1989:9).

testes, adaptações e modificações. Nesse período foram produzidos seis protótipos. Seguiu-se a fase de industrialização, ou seja, com a confecção dos gabaritos, das fichas de processo, e iniciados todos os trabalhos para a produção do avião, com uma cadência de seis aviões por mês. Por último, a fase da produção, iniciada em 1986, com o primeiro avião da série entregue em novembro de 1988 à Força Aérea Italiana (Mello, 1989:10).

A Embraer teve que duplicar o seu parque de usinagem e realizar um intenso treinamento de pessoal para operá-lo, dentro das novas tecnologias de controle numérico que foram incorporadas. Ela se capacitou também para o desenvolvimento da "inteligência" do avião — o *software* —, 30% do qual são de sua responsabilidade. Outro setor onde houve incorporação de tecnologia nova foi no desenvolvimento de material composto, utilizado em várias partes do AMX. Graças a esse processo de capacitação, a Embraer passou a receber importantes encomendas da McDonnell Douglas para fabricar *flaps* do MD-11, avião de passageiros de grande porte. Outras empresas de componentes foram também incorporando novas tecnologias no processo de desenvolvimento do AMX, entre elas a Elebra, a ABC Sistemas Eletrônicos e a Companhia Eletromecânica (Celma), tendo esta última se capacitado para produzir 350 peças do motor do AMX, sob licença da Rolls Royce, além da própria montagem e revisão dos motores (Mello, 1989:17).

A parte eletrônica, principalmente a que integra seu sistema de autodefesa, é que faz do AMX o avião com os recursos mais modernos em sua faixa de atuação. Nesse setor, a Embraer se viu obrigada a empreender um esforço de capacitação de diversas empresas nacionais para a produção, teste, calibragem e principalmente manutenção dos equipamentos. Além daqueles desenvolvidos no Brasil, existem 101 equipamentos produzidos sob licença, dos quais 51 são inteiramente eletrônicos e garantem à empresa nacional três condições que a Aeronáutica considera fundamentais: engenharia de produto, de processo e de qualidade (Mello, 1989:17).

Outro ganho considerado importante pelo Ministério da Aeronáutica foi a aquisição de conhecimentos sobre o gerenciamento tanto do desenvolvimento de um produto bastante complexo, quanto de um programa multinacional, que permitiu acesso a todos os documentos e projetos, e se fez com base em um processo decisório de tipo paritário. Esperava-se com isso capacitar a Embraer para o desenvolvimento de projetos, de forma que os acordos de cooperação industrial para a fabricação de aeronaves passassem a ser implementados sob a sua liderança (Saraiva, 1989).

Em 1988, foi assinado o memorando de fabricação em série dos aviões e, no ano seguinte, o de distribuição dos 79 aviões destinados à Força Aérea Brasileira, FAB (Mello, 1989:14). Até o início de 1993, no entanto, a FAB havia recebido apenas 21 aviões, ao passo que a Itália já incorporou 60 deles à sua força aérea. Além disso, o cronograma de entregas do AMX foi objeto de repetidos cortes, enquanto sucessivos socorros orçamentários foram destinados à Embraer, a par da redução de 79 para 54 dos aviões a serem entregues à FAB.

O agravamento da crise da Embraer implicou a redução de 50% do seu pessoal, a queda vertiginosa das exportações e o aumento de suas dívidas de curto prazo. O AMX tem um peso considerável no rombo da empresa. A média dos investimentos em P&D, no cômputo dos investimentos totais da empresa, entre 1983 e 1989, foi de 63%, e o AMX consumiu a maior parcela dos investimentos da empresa no período. É uma situação deprimente, uma vez que a Embraer é a segunda empresa fabricante de aviões regionais no mundo. Em 23 anos de existência, produziu mais de 4.500 aeronaves, que estão voando em cerca de 50 países, detendo 31% do mercado mundial na classe do Brasília (EMB-120), e 46% da comercialização de treinadores militares de sua categoria na classe do Tucano (EMB-312).[23]

O custo total da participação brasileira no Programa AMX está previsto em US$2,5 bilhões, dos quais já foram já gastos cerca de US$1 bilhão. Segundo o Ministério da Aeronáutica, US$1,5 bilhão seriam gastos no Brasil e US$1 bilhão, no exterior — com importações de máquinas, equipamentos e componentes. O contra-argumento utilizado pelo Ministério da Aeronáutica, no que se refere à relação custo-benefício financeiro, para justificar esse investimento no AMX, é o de sua aceitação no mercado internacional, previsto para absorver cerca de 2.500 aeronaves desse tipo. Como o preço do avião (cerca de US$16 milhões a unidade) é considerado bastante competitivo, haverá ainda grande possibilidade de se vender algo em torno de 600 unidades a médio prazo. E, para isso, foi criada uma empresa, a AMX International, sediada em Londres, com a exclusiva função de cuidar da comercialização do avião (Lobo, 1989b:41). No entanto, até agora não há encomendas e persistem sérias dúvidas quanto às suas possibilidades de bom desempenho no mercado internacional. O lapso de 10 anos entre a concepção do produto e as primeiras entregas revela, na verdade, que o avião deverá enfrentar várias dificuldades em um segmento tão exigente do mercado internacional (Saraiva, 1989:44).

Além disso, o mercado bélico mundial está retraído. O acirramento da disputa pelos negócios de armamentos acaba sendo definido pelo poder de pressão que as grandes potências exercem em várias partes do mundo. Exemplo disso foi a derrota da Engesa em uma concorrência para fornecer carros de combate à Arábia Saudita. Mesmo depois de ter vencido nos quesitos técnicos e financeiros, a empresa brasileira foi politicamente derrotada pelos EUA. Existe uma grave crise no mercado aeronáutico, civil e militar, com quedas generalizadas de encomendas e prejuízos enormes nas grandes empresas, o que contribui ainda mais para o acirramento das disputas por novos negócios. Em fevereiro de 1992, em Varese (Itália), caiu o segundo AMX, durante a realização de testes, o que provavelmente concorreu para o cancelamento da primeira encomenda, de 38 aeronaves,

[23] Em termos de legislação fiscal, a Embraer pagava todos os tributos e teve seu subsídio extinto pela Lei nº 7.714, de 29 dez. 1988.

pela Tailândia. Por último, à época do acordo Brasil-Itália, entre 1979 e 1980, a situação econômica do país era completamente diferente, e ainda se faziam projetos de futuro baseados nos índices de crescimento obtidos ao longo da década de 70. Torna-se difícil para a FAB manter seu programa de aquisições de 54 aeronaves, o que deverá acarretar o estreitamento do próprio mercado interno para o AMX.

No entanto, o programa deverá prosseguir, tanto para honrar o acordo com a Itália quanto para atender às necessidades imediatas da Aeronáutica por aeronaves de tecnologia avançada. A quase inadimplência da Embraer não decorreu de uma administração empresarial incompetente, e sim do fato de o governo não ter honrado seus compromissos com a empresa. Além disso, ao Programa AMX se deve o salto de 10 anos dado pela Embraer em termos de capacitação tecnológica e industrial, configurando um avanço que permitiu a fabricação de trens de pouso e a de outros produtos de tecnologia mais avançada do que a do avião Bandeirante, casos do EMB-120 (Brasília) e do EMB-145.

7. A reaproximação militar dos EUA

O rompimento unilateral do Acordo de Assistência Militar, em 1977, induziu muitos a inferirem pela ruptura das relações militares entre o Brasil e os EUA, afastando a ameaça do alinhamento automático brasileiro em defesa dos interesses estratégicos norte-americanos.[24] Para alguns setores militares, no entanto, a conseqüência mais significativa foi ter permitido a expansão da indústria bélica nacional e a ativação da P&D militar. Para eles, o acordo dificultou a transferência de tecnologia, tornando-se um obstáculo à modernização das forças armadas. Seu fim trouxe benefícios e quase nenhum custo, já que os US$50 milhões da assistência militar representavam apenas 2,5% do orçamento militar de 1977. No entanto, os EUA insistiram em restabelecê-lo, embora em novas bases.

Na década de 80 teve início uma nova fase nas relações militares entre o Brasil e os EUA, encarada com cautela pelos militares brasileiros. A iniciativa da reaproximação militar surgiu com a criação de um grupo de trabalho, cujos objetivos principais seriam examinar as perspectivas de uma cooperação industrial-militar compatível com as exigências legais e políticas de ambas as partes e estabelecer os entendimentos intergovernamentais necessários.[25] Desde o início, quando das reuniões do Grupo de Trabalho Brasil-Estados Unidos sobre Coope-

[24] Pelo Acordo de Assistência Militar de 1952, que vigorou nas relações militares entre o Brasil e os EUA por mais de 25 anos, essa superpotência se obrigava a ceder material bélico (operacional e tecnologicamente obsoleto para ela) e proporcionar assessoramento e treinamento militar ao Brasil.

[25] O Grupo de Trabalho Brasil-Estados Unidos sobre Cooperação Industrial-Militar foi criado em decorrência da visita do presidente Ronald Reagan ao Brasil, em dezembro de 1982.

ração Industrial-Militar, os dois governos concordaram no estabelecimento de parâmetros orientadores dessa cooperação que levassem em conta a necessidade de autonomia tecnológica para o segmento militar da indústria brasileira.[26] Em todo esse processo de entendimento, a posição brasileira foi inequívoca: a reaproximação militar, em nenhum momento e sob qualquer circunstância, poderia prejudicar o processo de consolidação da P&D militar e da indústria bélica brasileira, de modo que ficassem resguardados os interesses do Brasil no mercado de material bélico mundial. Tratava-se de capacitar o Brasil no domínio de tecnologia moderna para fins militares, sem que essa transferência viesse a criar dificuldades à expansão externa de sua indústria bélica.[27]

Em 6 de fevereiro de 1984, entrou em vigor o *Memorando de entendimento de cooperação industrial-militar*, que tornava explícita a intenção de ambos os governos de encorajar a cooperação industrial-militar e fixava os parâmetros para a salvaguarda das informações militares classificadas com base no referido memorando.[28] Nele, ficaram estabelecidos procedimentos para proteger as informações técnicas, inclusive os pacotes de dados técnicos, fornecidos por uma das partes à outra. [29]

Durante as negociações, os norte-americanos apressaram-se em apresentar um acordo de segurança mais amplo, a fim de proteger a transferência de tecnologia com dispositivos mais rígidos. Embora o Brasil tivesse protelado a negociação desse novo instrumento de cooperação, a questão não teve resposta unânime do lado brasileiro. De qualquer modo, o *Memorando de entendimento de cooperação industrial-militar* foi um documento alternativo para o impasse decorrente da não-aprovação imediata do Acordo Geral de Segurança de Informações Militares.

O Estado-Maior das Forças Armadas julgou, no âmbito da delegação brasileira, o Acordo Geral de Segurança de Informações Militares de interesse primordial para as Forças Armadas, sugerindo que fosse apreciado pelos ministérios militares. Em 15 de junho de 1984, os representantes militares chegaram a uma redação de minuta de acordo que, em seu entendimento, atendia aos princípios asseguradores dos interesses brasileiros que haviam norteado a negociação do *Memorando de entendimento de cooperação industrial-militar*. Em seguida, ele foi submetido à apreciação do Ministério das Relações Exteriores, para obtenção de um consenso mais amplo no âmbito do governo brasileiro. Entretanto, o Itamarati foi contra a sua formalização, enquanto o Ministério da Aeronáutica pressionou na direção oposta, pois julgava a aprovação necessária ao desenvolvimento do Programa AMX.

[26] As reuniões do grupo de trabalho citado (ver nota 25) foram realizadas nos períodos de 13 e 14 de junho e de 30 e 31 de agosto de 1983, respectivamente em Washington e em Brasília.

[27] Ver relatório final do Grupo de Trabalho Brasil-Estados Unidos sobre Cooperação Industrial-Militar, de 6 out. 1983. mimeog.

[28] O memorando entrou em vigor por troca de notas, efetuada em Brasília, entre o ministro das Relações Exteriores do Brasil, Ramiro Saraiva Guerreiro, e o secretário de Estado dos EUA, George P. Shultz.

[29] Ver Memorando de entendimento de cooperação industrial-militar, de 31 ago. 1983. mimeog.

O Itamarati emitiu parecer negativo não só com restrições ao seu teor específico, mas com objeções quanto à oportunidade e à eficácia da iniciativa de negociar o acordo com os EUA.[30] Na argumentação aludiu a inconvenientes políticos, de ordem interna e externa, assim como sugeriu que a negociação do novo instrumento ficasse subordinada à avaliação dos resultados concretos da aplicação do memorando de entendimento, por nutrir dúvidas quanto à direção que os EUA tencionariam dar à cooperação resultante e à flexibilidade que demonstrariam na aplicação de restrições previstas, expondo sua preferência por uma negociação firme e cautelosa com esse país, despida de interesse imediato. O Itamarati não via solução adequada à questão decorrente das restrições que poderiam ser impostas ao fornecimento de tecnologia e à atividade exportadora brasileira. Argumentava, então, que o acordo geral não seria útil ao Brasil, mesmo na hipótese de um amplo desenvolvimento da cooperação bilateral no campo industrial-militar, porque não se poderiam esperar ganhos significativos em matéria de transferência de tecnologia sensível, já que as restrições nessa área têm aplicação universal, acrescentando que o próprio interesse do Brasil na aquisição desse tipo de tecnologia é relativo.

Do ponto de vista industrial, a diferença básica é que o acordo, ao contrário do memorando, continha restrições ao livre uso das informações em contexto tão amplo que certamente afetariam a atividade exportadora brasileira, quando não as próprias finalidades da indústria bélica. Além disso, os EUA não estavam dando demonstração de ter abandonado o interesse de assegurar um maior alinhamento do Brasil e um maior controle de sua produção industrial-militar, tanto para evitar a concorrência brasileira em terceiros mercados quanto para afetar politicamente as exportações do Brasil.

Se, por um lado, o Ministério das Relações Exteriores tomou posição contrária à aprovação do Acordo Geral de Segurança de Informações Militares, sugerindo o desenvolvimento da cooperação industrial-militar no marco do *Memorando de entendimento*, os ministérios militares, por outro, não concordavam com os argumentos do Itamarati, e justificavam a necessidade do acordo por considerarem-no uma conseqüência lógica do memorando, que não obrigava o Brasil a receber a cooperação e a informação que não desejasse. Para eles, o acordo não conduzia, necessariamente, ao alinhamento automático do Brasil com os interesses estratégicos dos EUA, nem interferia na expansão da indústria bélica brasileira. Ao contrário, poderia produzir ganhos significativos em matéria de tecnologia sensível, em especial para o Programa AMX, cuja conclusão poderia ser acelerada.[31]

[30] Ver documento do Itamarati, de 9 jul. 1984. mimeog.

[31] Ver exposição de motivos dos ministros militares ao presidente da República, de agosto de 1984. mimeog.

Acreditavam os ministros militares que, através do acordo geral, o governo brasileiro poderia fazer valer seu desejo de promover uma efetiva transferência de tecnologia, resguardando os interesses da indústria bélica nacional, e proteger a indústria bélica na sua atividade exportadora. Segundo eles, o acordo não embutia o interesse dos EUA em continuar exercendo uma posição dominante na relação bilateral. Diante disso, no início das negociações, os ministros militares estavam cedendo à pressão da força aérea, que via no acordo a solução imediata para a conclusão do Programa AMX, já que em todas as suas tentativas para apressar entendimentos com a força aérea dos EUA com relação aos componentes do AMX, o argumento principal do lado americano era o de que esse assunto só poderia ser resolvido no âmbito de um acordo da natureza do Acordo Geral de Segurança de Informações Militares. Assim, atendendo às necessidades da Aeronáutica, em que pesem as restrições do Itamarati, o Estado-Maior das Forças Armadas preparou uma minuta de acordo para ser negociada com a delegação norte-americana. Depois de concluída no âmbito dos ministérios militares, foi dada ao conhecimento do Serviço Nacional de Informações, da Secretaria-Geral do Conselho de Segurança Nacional, do Gabinete Militar da Presidência da República e, posteriormente, do Ministério das Relações Exteriores.

A proposta brasileira de acordo não foi aceita pelos EUA e o memorando de entendimento vigorou até 6 de fevereiro de 1989, sem ter produzido resultados concretos. Ainda assim, o esforço norte-americano de consolidar a relação militar com o Brasil não se encerrou, ao mesmo tempo em que intensificavam as pressões para boicotar o avanço brasileiro em seus principais programas de desenvolvimento tecnológico. Isto é, ao mesmo tempo em que passaram a realizar um cerco hostil ao Brasil nos campos comercial e científico-tecnológico, os EUA desenvolviam esforços para consolidar a cooperação no campo militar.

8. As principais dificuldades

Subjacente a todo esse processo de consolidação do sistema de pesquisa e desenvolvimento militar e de sua articulação com o setor produtivo, predomina um quadro de dificuldades marcado pela escassez de recursos e por pressões internacionais. Por outro lado, a gerência qualificada dos projetos tem compensado, em parte, o problema dos recursos, evitando descontinuidades prolongadas na execução dos principais projetos. Não há dúvida de que os três programas de tecnologia avançada — o nuclear, o espacial e o AMX — sofreram atrasos e nenhum deles estará concluído nos prazos estabelecidos originalmente, mas a falta de recursos não tem sido o único fator determinante de tal situação. Outra dificuldade tem sido o bloqueio à transferência de tecnologia imposto ao Brasil pelos países industrializados.

O Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear deverá comprometer US$2,5 bilhões em 20 anos, embora em 14 anos de existência só tenham sido investidos cerca de US$800 milhões. A Missão Espacial Completa Brasileira, por sua vez, teria de gastar em 13 anos (1980-1993) cerca de US$1,1 bilhão, mas só gastou US$520 milhões. O SCD-1 deixou de ser lançado pelo foguete brasileiro porque faltaram US$180 milhões. O Programa AMX quase levou a Embraer à inadimplência. A conseqüência mais perversa, contudo, foi o desmonte da equipe de cientistas, engenheiros e técnicos, cuja capacitação fica comprometida em sua qualificação para o futuro. Além disso, a instabilidade na condução desses programas gera problemas no relacionamento com o setor produtivo. Só no Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, na MECB e no Programa AMX estão envolvidas, respectivamente, cerca de 150, 130 e 106 empresas. Essas dificuldades sugerem que a C&T brasileira não é reconhecida como prioridade nacional, já que a escassez de recursos atinge todo o setor público da P&D.

Durante a década de 80, países que não são membros do seleto grupo dos desenvolvidos passaram a investir no desenvolvimento de tecnologias consideradas sensíveis, como a nuclear, a de armamentos, a aeronáutica, a espacial, a de informática e a de microeletrônica, preocupando os detentores do domínio dessas tecnologias, já que eles poderiam, em um futuro imediato, deter meios de destruição em massa. O Brasil, apesar das dificuldades internas de natureza política e econômica, conseguiu se capacitar em vários setores considerados de tecnologia sensível e dual (com finalidades civil e militar), como a nuclear e a espacial, e passou, com isso, a ser alvo de boicotes, de restrições, de pressões e até mesmo de retaliações por parte dos países industrializados, principalmente os EUA.

Para os militares, não deixam de causar estranheza as iniciativas norte-americanas para promover novos entendimentos tendo em vista maior aproximação com as Forças Armadas brasileiras, quando são notórias as pressões exercidas no comércio e no campo científico-tecnológico (Emfa, 1986). Na realidade, os EUA vêm-se constituindo em um sério complicador naquilo que é considerado fundamental à construção da grande potência e à modernização da força militar: a C&T, em especial, em dois dos principais programas da P&D militar, o nuclear e o espacial.

Desde o início de sua execução, o Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear vem sendo retaliado pelos EUA. Desde que veio a público, em 1987, depois de oito anos de sigilo, tornou-se quase impossível importar equipamentos eletrônicos e válvulas daquele país. Os EUA não vêem com bons olhos o fato de o Brasil enriquecer urânio e construir o primeiro reator em seu território, com autonomia tecnológica.

As relações entre o Brasil e os EUA na área tecnológica continuam tensas. O argumento do governo norte-americano é que o mesmo equipamento usado na

meteorologia poderá também ser usado na área nuclear. Enquanto o Brasil não assinar o Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares, as licenças para exportação de equipamentos dessa natureza serão negadas pelos EUA. O mesmo tipo de impasse afeta o programa espacial. O atraso no desenvolvimento do foguete (veículo lançador de satélites) é creditado tanto à falta de recursos quanto ao bloqueio imposto pelos países industrializados — EUA, Inglaterra, França, Canadá, Itália, Alemanha e Japão — de acordo com o Regime de Controle de Tecnologia de Mísseis.[32] O embargo impediu a importação de qualquer componente que possa ser incorporado ao veículo lançador de satélites, como sensores inerciais para controle do veículo e materiais para altas temperaturas.

A solução buscada, tanto para o Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear quanto para a Missão Espacial Completa Brasileira, foi tentar fabricar os componentes, negados no mercado internacional, no país, embora se trate de um processo mais caro e demorado. Além disso, outras medidas já foram tomadas a fim de romper o bloqueio imposto. No campo nuclear, o Brasil tomou a decisão política de renunciar à posse da bomba nuclear e de submeter esse programa às salvaguardas da Agência Internacional de Energia Atômica (Aiea), firmando o Acordo Brasil-Argentina para o Uso Exclusivamente Pacífico da Energia Nuclear (Acordo de Guadalajara), ratificando o Tratado para a Proscrição das Armas Nucleares na América Latina (Tratado de Tlatelolco) pelo Congresso Nacional e assinando um acordo de aplicação de salvaguardas com a Aiea, com a Argentina e a Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares.[33] No campo espacial, já ativou o Programa Sino-Brasileiro, assinado em 1988, e que não integra a MECB, para a construção de dois satélites de sensoriamento remoto CBERS, o primeiro deles com lançamento previsto para outubro de 1996.[34] Além disso, o Ministério de

[32] Pelo Regime de Controle de Tecnologia de Mísseis, os países que dominam tal tecnologia visam limitar a proliferação de mísseis capazes de transportar mais de 500kg a distâncias superiores a 300km.

[33] A renúncia do Brasil às armas nucleares e a qualquer arma de destruição em massa é efetiva. Nesse sentido, vem cumprindo o programa estabelecido na Declaração sobre Política Nuclear Comum Brasileiro-Argentina, assinada em Foz do Iguaçu em 28 de novembro de 1990. Junto com a Argentina, assinou o Acordo para o Uso Exclusivamente Pacífico de Energia Nuclear, em 18 de julho de 1991, estabeleceu o Sistema Comum de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (SCCC) e instituiu a Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (Abacc), para implementar salvaguardas conjuntas. O acordo SCCC já está em vigor. Em seguida, foi assinado o acordo entre o Brasil, a Argentina, a Abacc e a Aiea para a aplicação de salvaguardas, em 13 de dezembro de 1991. Por esse acordo quatripartite, todo material salvaguardado só pode ser exportado caso seja submetido a salvaguardas da Aiea no país importador. O novo texto do Tratado para a Proscrição das Armas Nucleares na América Latina (Tratado de Tlatelolco), emendado por iniciativa do Brasil, da Argentina e do Chile, aos quais se somou o México, já foi ratificado pelo Congresso Nacional. O Brasil também assinou, em 13 de janeiro de 1993, a Convenção de Armas Químicas, que estabelece a destruição completa dessas armas no prazo de 10 anos (Viegas Filho, 1993).

[34] A sigla CBERS significa China-Brazil Earth Resources Satellite. A participação brasileira corresponde a 30% do Programa Sino-Brasileiro.

Ciência e Tecnologia considerou como prioritárias a construção de tais satélites e a conclusão do veículo lançador de satélites.[35]

O fato mais significativo, contudo, foi a intenção do governo brasileiro em criar a Agência Espacial Brasileira (AEB). A AEB substituirá a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais, vinculada ao Estado-Maior das Forças Armadas (Monteiro, 1993).[36] Também importante foi o anúncio de que o Ministério da Aeronáutica receberá US$40 milhões para conclusão dessa base, que poderá permitir ao país ingressar no mercado internacional de lançamento de satélites, hoje dominado pelos EUA e França, podendo faturar, em cada lançamento de foguete de pequeno porte, até US$10 milhões. Alcântara leva vantagem em relação às bases espaciais americana e francesa porque, devido à proximidade da linha do equador, os lançamentos são feitos com a economia de 25% de combustível.

A finalidade da Agência Espacial Brasileira será promover o desenvolvimento das atividades espaciais de interesse nacional, de acordo com a Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE), formalizada em 1985.[37] A AEB atuará como o órgão central do sistema espacial, do qual não estarão excluídos o CTA e a Embraer. Acredita-se que, com isso, ela venha a facilitar a aquisição de tecnologias avançadas, pois sua criação configura uma tentativa de furar o bloqueio internacional, imposto em 1987 pelos países do clube espacial ao programa brasileiro. O argumento do boicote é que o Brasil, sob a fachada de um programa civil, desenvolve um míssil balístico.

A retirada do programa espacial da órbita militar objetiva, também, vencer a resistência que os países industrializados opõem à proliferação da tecnologia de mísseis. No entanto, o argumento de que o Brasil busca o domínio da tecnologia de mísseis é apenas o motivo aparente que justifica o bloqueio tecnológico. Na realidade, os países industrializados pretendem manter o domínio exclusivo no campo das tecnologias avançadas, daí a disposição crescente das grandes potências em retardar o ritmo com que alguns poucos países periféricos vêm acompanhando os avanços da fronteira científico-tecnológica mundial.

9. O significado estratégico dos programas

A participação dos gastos em P&D militar no produto interno bruto, na P&D total do setor público e no orçamento militar não revela qualquer exagero quando comparada a outros indicadores sociais, econômicos ou científico-tecnológicos

[35] *Jornal Ciência Hoje, VII*(270), 12 mar. 1993.

[36] A divulgação de tal propósito foi durante o lançamento do foguete VS-40, 2 abr. 1993, precursor do VLS.

[37] A MECB executa, desde a existência da PNDAE, parte das atividades espaciais nela previstas. Com a conclusão do SCD-1, SCD-2, SSR-1, SSR-2 e do VLS, ela será extinta.

do país.[38] Ao contrário, pelos resultados produzidos e expectativas alimentadas, a P&D militar tem tido um papel significativo para o desenvolvimento brasileiro, tanto em termos de tecnologia gerada e transferida para fins civis e de administração eficiente dos projetos, quanto da bem-sucedida articulação do sistema produtivo com o sistema de P&D militar. Além disso, os projetos militares revelam que a maioria dos militares admite como verdadeira a premissa de que os avanços científico-tecnológicos alcançados serão não apenas o fundamento de nova concepção estratégica — de como o país se comportará e atuará no contexto das futuras relações de força —, como, em termos mais amplos, o fundamento da competitividade do Brasil na sua inserção internacional.

O Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear é claro quanto ao seu principal objetivo de natureza militar: o domínio da tecnologia do submarino de propulsão nuclear para emprego como submarino de ataque e não como um lançador de míssil balístico. Esse submarino é útil como vetor de pequenas incursões e como instrumento coadjutor ou complementar para o controle da área onde deve ocorrer o emprego da força naval (ou aeronaval). Na verdade, o submarino de ataque é uma arma de negação do uso do mar pelo adversário e não de garantia desse uso para a força naval que o emprega. O submarino convencional (de propulsão diesel-elétrica) é também útil para negar o uso do mar pelo adversário, mas o nuclear é útil mais longe, em áreas maiores e por mais tempo, ou seja, tem maior eficácia operacional.

É claro que convém ao Brasil tanto o submarino convencional quanto o nuclear. Enquanto a defesa da fronteira marítima (defesa próxima e afastada) for prioritária, o número de convencionais poderá ser maior do que o de nucleares. Mas, se o interesse nacional impuser a presença naval brasileira em águas distantes do Atlântico Sul, deverá ser aumentada a participação relativa da propulsão nuclear.

A Missão Espacial Completa Brasileira, por sua vez, tem o mesmo significado estratégico que o Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear. É necessária não somente à construção de uma força militar moderna, como ao desenvolvimento da capacitação científico-tecnológica do país. A diferença é que, enquanto o discurso naval sempre se manteve realista e cauteloso a respeito do esforço e das possibilidades da Marinha no campo tecnológico e da

[38] Quanto aos recursos destinados à P&D militar, há uma grande dificuldade para mensurá-los. Aliás, o cálculo dos dispêndios nacionais em P&D já oferece sérias dificuldades, tanto de ordem conceitual quanto de ordem metodológica. No caso da P&D militar, tal dificuldade se agrava, seja devido à inexistência de um critério universalmente aceito para se classificar uma atividade de pesquisa como civil ou militar, seja também devido à existência (o que é normal) de projetos militares de classificação sigilosa, financiados por verbas que não são identificadas pelos sistemas de coleta de dados sobre P&D. Embora seja contestável, estima-se que a P&D militar corresponda, aproximadamente, a 20% da P&D total financiada pelo setor público.

operacionalidade da futura força naval, o discurso aeronáutico assumiu, em determinados momentos, um tom triunfalista a respeito do esforço e das possibilidades da Aeronáutica no campo tecnológico e da operacionalidade da futura força aérea.[39]

Para os militares, a razão de toda a reação aos seus principais programas de P&D decorre do fato de que eles estão militarizados. Não obstante isso, é inegável a sua importância como esforço científico-tecnológico relativamente bem-sucedido. Se, de um lado, representam um avanço para se pensar a força militar futura, apta à defesa dos interesses nacionais no contexto de um espaço geopolítico de interesse (aliás, por muito tempo) limitado, de outro lado, não é o submarino nuclear em si nem o veículo lançador de satélites (ou o míssil balístico) o objetivo, respectivamente, da nova força naval e da nova força aérea, mas a capacitação do país para acompanhar o avanço da fronteira científico-tecnológica mundial que esses programas de P&D, ao lado do Programa AMX, vêm desenvolvendo.

A construção da grande potência é tanto uma intenção válida quanto um referencial teórico adequado para se pensar o Brasil do futuro em termos político-estratégicos. Entretanto, considerado o somatório de todas as dificuldades e insuficiências do país, a grande potência brasileira é uma possibilidade remota, garantida, apenas, como possibilidade geopolítica. A capacidade do Estado de orientar livremente sua conduta nas relações internacionais, de resistir à vontade de uma potência superior e de impor sua vontade a uma potência mais fraca não se sustenta, somente, em vantagens geopolíticas e na força militar. Ao contrário, a grande potência exige tanto o desenvolvimento de todos (ou quase todos) os fatores da capacidade estratégica quanto a superação das dificuldades e a redução das deficiências, que poderão se converter em vulnerabilidades no âmbito das relações de força e frente a uma potência superior. Assim, nem as vantagens geopolíticas nem o esforço de modernização da força militar são suficientes para transformar o Brasil em grande potência com interesses gerais, na primeira década do próximo século. Os avanços no campo da C&T poderão, contudo, viabilizar o desenvolvimento do país e permitir seu ingresso na sociedade pós-industrial.

Os militares brasileiros, de modo geral, aceitam os fundamentos geopolíticos como referência básica, tanto no nível da doutrina militar quanto da concepção estratégica, e a ênfase dada aos fatores de natureza geopolítica da capacidade estratégica, mas reconhecem, há algum tempo, a importância da ciência e tecnologia no cálculo estratégico. Na *rationale* militar, tanto a força militar quanto a capacitação científico-tecnológica são fatores preferenciais, uma vez que, sem novos conhecimentos, não será possível produzir novas armas. No entanto, o fato

[39] Sobre o discurso naval, ver Flores (1989). Sobre o discurso aeronáutico, ver Menezes (1984, 1985 e 1988).

de as Forças Armadas terem sido relativamente bem-sucedidas na administração de seus principais programas de P&D não significa que suas premissas sejam verdadeiras. A construção da grande potência é uma intenção válida, mas não implica prioritariamente a modernização da força militar. A grande potência deverá resultar mais da eficiência industrial e do grau de capacitação científico-tecnológica do país do que da existência de uma força militar moderna, ficando claro, portanto, a inexistência de uma subordinação do processo de construção da grande potência em relação aos avanços realizados na P&D militar (Cavagnari Filho, 1989c:34).

A modernização da força militar pode não ser a questão central, mas é uma das principais no âmbito do pensamento militar, cuja solução depende, em parte, do grau de autonomia científico-tecnológica já alcançado. A lógica militar enfatiza o esforço no desenvolvimento tecnológico bélico, tendo em vista a continuidade no processo de modernização, indiferente, até certo ponto, a qualquer alteração que possa provocar na ordem das prioridades nacionais. Aliás, ela exclui a possibilidade de construção da grande potência sem a modernização da força militar. Essa premissa configura, contudo, um paradoxo: ao privilegiar o componente militar da capacidade estratégica, introduz um complicador, já que o desenvolvimento prioritário da força militar não só não garante a eficácia dessa capacidade, como também não reduz as vulnerabilidades do país, podendo, ao contrário, comprometer a própria segurança nacional, dado o elevado custo social que pode impor (Cavagnari Filho, 1989c:34).

A condição de grande potência resultará da capacidade do Brasil de sobreviver e desenvolver-se no âmbito de um sistema internacional competitivo, cujos fundamentos deverão ser os componentes não-militares da capacidade estratégica, principalmente a capacitação científico-tecnológica. Em conseqüência, o esforço nacional deverá convergir para esse objetivo, não privilegiando necessariamente a P&D militar. Não há dúvida de que os principais programas militares deverão ter continuidade até sua conclusão, mas as perspectivas da P&D militar no campo das tecnologias avançadas deverão ser limitadas, já que prevalece a tendência a dotar a P&D civil da capacidade de administrar programas tecnológicos dessa natureza, com a mesma eficiência demonstrada no âmbito militar.

Os obstáculos ao desenvolvimento dos programas militares poderão ser reduzidos, desde que o desenvolvimento de tecnologias de ponta não esteja militarizado. Isso, no entanto, não significa a exclusão das Forças Armadas da pesquisa e desenvolvimento. Ao contrário, elas deverão continuar participando desse esforço, mas conscientes de que o prestígio do país e o fortalecimento da sua capacidade estratégica não decorrerão somente da eficácia da força militar, mas também (e principalmente) do grau de competitividade do Brasil no sistema internacional. Será forte o país que for competitivo. E os fundamentos da competição não são militares, assim como não é predominantemente militar a finalidade da ciência e tecnologia de um país desenvolvido, industrializado e competitivo.

10. As perspectivas da P&D militar

A P&D militar pode ser avaliada pelos seus principais programas: o Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, a Missão Espacial Completa Brasileira e o Programa AMX. Embora outros projetos em desenvolvimento no Instituto de Pesquisas da Marinha, no Centro Tecnológico do Exército e no Centro Técnico Aeroespacial também sejam relevantes, os três programas citados permitem, graças ao patrimônio tecnológico construído a partir deles, uma avaliação aproximada do desempenho de todo o sistema de pesquisa e desenvolvimento das Forças Armadas. Considerando como fatores de avaliação (1) os resultados alcançados no domínio de tecnologias avançadas, na nacionalização de componentes e na capacitação tecnológica, gerencial e industrial, (2) a articulação com o setor produtivo, que permitiu o aumento da competitividade de algumas empresas no mercado internacional, e (3) a continuidade dos programas sem intermitências prolongadas, apesar da insuficiência de recursos e das pressões e boicotes internacionais, pode-se afirmar que a P&D militar vem sendo bem-sucedida.

A articulação da P&D militar com o setor produtivo não chegou a estabelecer, efetivamente, um complexo industrial-militar, como pretendiam alguns setores das Forças Armadas. Por isso, o processo de conversão do parque industrial bélico limitar-se-á a poucas empresas, nas quais não estarão incluídas nem a Embraer nem aquelas que se associaram aos principais programas (cerca de 150 no Programa Autônomo de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, de 130 na Missão Espacial Completa Brasileira e de 106 no Programa AMX), porque a maior parte de sua produção é de natureza civil. Na realidade, impõe-se salvaguardar a capacitação industrial desenvolvida no âmbito dessas empresas, principalmente da Embraer. A recuperação dessa empresa se justifica não só pelos compromissos internacionais assumidos (com a Itália, a Inglaterra e a Argentina), como pelo fato de que o mercado brasileiro de aviões é o segundo do mundo em termos de aviação executiva, e, além disso, é um mercado em expansão.[40]

De certo modo, os dados até aqui considerados já justificariam tanto a conclusão dos principais programas quanto a própria existência da P&D militar. No entanto, são insuficientes para se inferir suas perspectivas. Há que considerar o peso específico das denúncias, das pressões e dos boicotes internacionais, que poderão comprometer também programas futuros de tecnologia avançada. De acordo com uma publicação francesa recente, o Brasil estaria produzindo armas nucleares clandestinamente (*O Estado de S. Paulo*, 1993a). Em seguida, foi denunciado o boicote que a ONU estaria recomendando contra o programa espa-

[40] O total do mercado potencial acena com possibilidades de faturamento da ordem de US$13 bilhões até 2003, envolvendo o Brasília, o EMB-145, o Tucano e o AMX (Embraer, 1993).

cial brasileiro porque seu veículo lançador de satélites poderá ser usado com fins militares (*O Estado de S. Paulo*, 1993b). Para alguns analistas brasileiros, essas denúncias procedem porque o Brasil não assinou o Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares (TNP), nem aderiu ao Regime de Controle de Tecnologia de Mísseis (RCTM). É certo, contudo, que se o Brasil não está produzindo a bomba, em breve terá dominado a tecnologia de dois vetores: o míssil balístico de alcance médio e o submarino nuclear.

A não-adesão do Brasil ao Regime de Controle de Tecnologia de Mísseis não é uma decisão definitiva, como é, por ora, a recusa de assinar o Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares. O referido tratado é considerado discriminatório, implicando a manutenção do *status quo* na hierarquia das potências, além de restringir o desenvolvimento nuclear para fins pacíficos e coibir a proliferação nuclear horizontal, mas não a proliferação nuclear vertical. As desconfianças no campo nuclear não decorrem só dessa recusa. Na segunda metade da década passada, militares diziam que não era o seu objetivo fabricar a bomba atômica, mas, se fosse necessário, ela seria fabricada. Admitiam que o conhecimento até então adquirido já era suficiente para produzi-la. Ou seja, existia uma vontade militar para produzir armas de destruição em massa, embora ainda não existisse capacitação tecnológica suficiente para isso. Explica-se, então, a suspeita internacional de que a construção da grande potência contemplava também a sua dimensão nuclear.

Na década de 80, prevalecia em determinados setores militares brasileiros a ilusão de que a posse da arma nuclear, assim como a de seus vetores (o míssil balístico e o submarino nuclear), compensaria a insuficiência de *status* do país que a detivesse, podendo garantir-lhe vantagens político-estratégicas nas suas relações internacionais. Demoraram a perceber que não se admite um projeto de fabricação de armas nucleares sem que haja uma proposição estratégica que o sustente: uma proposição estratégica que admita a possibilidade de um conflito que tenha sentido e alcance profundos. Durante a Guerra Fria, eram poucas as situações de conflito que admitiam tecnicamente, como mecanismo de dissuasão ou intimidação, a destruição proporcionada pela arma nuclear (Cavagnari Filho, 1987:92). Não há dúvida de que, atualmente, determinadas situações de conflito regionais eventualmente poderão conduzir ao seu emprego, se a proliferação de tecnologias sensíveis não for efetivamente controlada.

Alguns analistas crêem que o TNP padece de um longo processo de erosão. Afirmam que se nada ocorrer com a Coréia do Norte, outros países poderão considerar a atitude norte-coreana como um precedente válido, o que equivaleria à falência do tratado.[41] A Ucrânia, hoje a terceira potência nuclear do mundo,

[41] Com a saída da Coréia do Norte do TNP, países altamente desenvolvidos como Japão, Coréia do Sul e Taiwan, que até agora confiaram no "guarda-chuva nuclear" norte-americano, poderiam aceitar o desafio norte-coreano e se nuclearizar em termos militares.

anunciou que não assinará esse tratado. Em outubro de 1991, o Paquistão comemorou sua ascensão ao *status* de potência nuclear e anunciou o desenvolvimento de sistemas de transporte especiais para armas nucleares. A corrida armamentista entre Índia e Paquistão torna a utilização das armas de extermínio em massa relativamente provável. Israel, embora não confirme oficialmente, dispõe de mais de 200 bombas nucleares. A África do Sul — que diz ter desmantelado as que produziu — pode tornar a fabricar as suas a qualquer momento, caso seja necessário. O Irã e o Iraque persistem, por sua vez, na pretensão de se tornarem potências nucleares. Tudo isso concorre para configurar um cenário de proliferação incontrolável, caso os atuais mecanismos internacionais não se mostrem eficazes para garantir a segurança internacional. O que se constata, na realidade, é que o controle está se fortalecendo e se expandindo.

O Brasil, por sua vez, tomou iniciativas significativas no campo nuclear, reconhecendo que o tema da não-proliferação de armas de destruição em massa é central e tem prioridade imediata na agenda internacional. No entanto, a perspectiva da integração regional foi mais eficaz do que as pressões internacionais e norte-americanas para a renúncia à bomba nuclear. Desde o início do processo de integração sul-americana, ainda na etapa da cooperação bilateral, Brasil e Argentina tomaram a decisão política da renúncia, para afastar a possibilidade de uma futura corrida armamentista que viesse a comprometê-la.[42] O país renunciou às armas nucleares e a qualquer arma de destruição em massa, mas não renunciou ao domínio da tecnologia dos vetores. Através de suas iniciativas, procurou assegurar a não-proliferação em um contexto de igualdade de direitos e deveres entre as partes — o que não ocorre com o TNP —, sem comprometer seus interesses nacionais. O Brasil está convencido de que desbloquear as transferências de tecnologia para fins pacíficos só será possível mediante a contrapartida de garantias de que essas tecnologias não serão desviadas para uso em finalidade militar (Viegas Filho, 1993). Contudo, a adesão aos atuais mecanismos internacionais de não-proliferação e controle de tecnologias sensíveis não assegura a transferência de tecnologia para fins pacíficos em favor do Brasil.

Para as grandes potências, e em particular para os EUA, a garantia que um país pode oferecer só se efetiva com a adesão ao TNP e ao RCTM. Daí a insuficiência, para elas, das iniciativas tomadas pelo Brasil. A reafirmação do seu compromisso com a não-proliferação e a opção pelo desenvolvimento nuclear para fins exclusivamente pacíficos ainda não são suficientes para dirimir suspeitas que cercam as pesquisas militares brasileiras. Para alguns analistas, a credibilidade do Brasil só será resgatada se o país se submeter àqueles controles, tendo como contrapartida sua exclusão da lista de países visados do Comitê de Coordenação de

[42] Tal decisão política foi formalizada pela Declaração Conjunta sobre Política Nuclear de Foz do Iguaçu, em 30 nov. 1985, e reafirmada, posteriormente, pela Declaração Conjunta sobre Política Nuclear de Brasília, em 10 dez. 1986. (Cavagnari Filho, 1988:141-2 e 1990:328-33).

Controles Multilaterais de Exportação (Cocom).[43] Obviamente, diminuirão (ou até desaparecerão) as pressões internacionais, mas não há garantia de que essa atitude promoverá um interesse vital para o desenvolvimento (e, por extensão, para a construção da grande potência) brasileiro: o domínio de tecnologias avançadas. As restrições serão mantidas enquanto isso atender aos interesses nacionais das grandes potências. Assim, se o Brasil conseguiu, com dificuldades de toda a ordem, vencer etapas decisivas em seus principais programas de P&D militar, sua adesão ao TNP e ao RCTM só deverá se efetivar na perspectiva do interesse nacional. Por ora, são suficientes as garantias dadas — embora outras venham a ser exigidas sem comprometer seu esforço para acompanhar o avanço da fronteira científico-tecnológica mundial.

É claro que futuros programas de tecnologia avançada não mais devem ser militarizados. No entanto, poderá vir a ser necessário o desenvolvimento de programas de tal natureza com fins militares, em virtude da possibilidade de o Brasil vir a assumir responsabilidades político-estratégicas crescentes no quadro das relações internacionais. Além disso, o referencial teórico adotado continua válido, porque a grande potência poderá vir a ser conseqüência natural de um processo de desenvolvimento nacional bem-sucedido, mas não necessariamente na sua dimensão militar. De qualquer modo, a modernização da força militar estará subjacente nesse processo. Por isso, não deve ser excluída a participação das Forças Armadas em futuros programas de tecnologia avançada. Quanto aos programas atuais, é aconselhável desmilitarizar sua coordenação (com a criação da Agência Espacial Brasileira, por exemplo), mas sua execução deve continuar no âmbito da P&D militar até que sejam concluídos. Não há dúvida de que esses programas virão a conferir ao país a capacidade potencial de produção de armas de destruição em massa, embora predominem as finalidades civis. Em suma, não se discute a existência de programas com finalidades militares, e sim a prioridade deles no desenvolvimento científico-tecnológico nacional.

A P&D militar continua a contribuir para a criação de condições necessárias à construção da grande potência, que, hoje, é admitida na sua dimensão econômica. A P&D militar tem proporcionado avanços efetivos no domínio de tecnologias avançadas, com importantes repercussões na área civil, e continuará tendo, com certeza, uma função importante no sistema de C&T nacional. No entanto, se o segmento civil do setor público da P&D global não se organizar de acordo com padrões adequados de gerência e de articulação com o setor produtivo, a P&D militar não só continuará a manter sua presença na execução de programas de tecnologia avançada, como poderá a vir ampliá-la em virtude de seus interesses institucionais que, na visão das Forças Armadas, são também interesses nacionais.

[43] A fundação do Cocom seguiu-se à fundação da Otan, como o primeiro dos regimes de controle de tecnologia. Ele funciona com base numa lista de países visados e outra de bens embargados, dividida em material de uso nuclear, material bélico e material de tecnologia avançada de uso duplo — civil e militar (Vaz, 1993).

Referências bibliográficas

Aeronáutica acusa falta de incentivo a foguete. *O Estado de S. Paulo*, 16 abr. 1993b.

O Brasil teria a bomba, diz revista francesa. *O Estado de S. Paulo*, 8 abr. 1993a.

Buzato, Marco Antonio. Considerações sobre os efeitos econômicos indiretos de programas espaciais. São José dos Campos, Inpe, 1985. mimeog. (Dissertação de Mestrado.)

Capozoli, Ulisses. Satélite brasileiro não tem data de lançamento. *O Estado de S. Paulo*, 7 jan. 1993.

Cavagnari Filho, Geraldo Lesbat. Autonomia militar e construção da potência. In: Oliveira, Eliézer Rizzo de et alii. *As forças armadas no Brasil*. Rio de Janeiro, Espaço e Tempo, 1987.

———. La agenda geoestratégica: la perspectiva brasileña. In: Hirst, Monica (org.). *Argentina-Brasil: el largo camino de la integración*. Buenos Aires, Legasa, 1988.

———. Alguns aspectos da potência brasileira. *Revista de Cultura Vozes, 83*(5), set./out. 1989a.

———. Concepção estratégica. In: NEE/Unicamp. Brasil no século XXI: ciência e tecnologia como variável estratégica no pensamento militar brasileiro. Campinas, Unicamp, 1989b. mimeog. (Projeto Avaliação e Perspectivas em Ciência e Tecnologia.)

———. Algumas idéias sobre a base político-ideológica da C&T no período dos governos militares. In: II Seminário do Programa de Política e Administração de C&T. *Anais*. Brasília, CNPq, 1989c.

———. Brasil-Argentina: autonomía estratégica y cooperación militar. In: Hirst, Monica (org.). *Argentina-Brasil: perspectivas comparativas y ejes de integración*. Buenos Aires, Tesis, 1990.

Cobae/Emfa. *Informações gerais sobre a Cobae e a MECB*. Brasília, Emfa, 24 nov. 1992.

Embraer. Dossiê Embraer. 18 fev. 1993. mimeog.

Emfa. O relacionamento militar Brasil-Estados Unidos. Brasília, Emfa, 1986. mimeog.

ESG. *Doutrina militar brasileira*. Rio de Janeiro, Escola Superior de Guerra, 1982. 2v.

Flores, Mário César. *A Marinha e a defesa nacional*. Brasília, 1989. (Palestra realizada na Comissão de Defesa Nacional da Câmara dos Deputados, 22 jun. 1989.)

Jungk, R. *Plus clair que mille soleils*. Paris, Arthaud, 1968.

Lobo, Lélio Viana. *Programa VLS — veículo lançador de satélites e implantação do Centro de Lançamento de Alcântara*. Brasília, 1989a. (Palestra realizada na Comissão de Defesa Nacional da Câmara dos Deputados, 14 jun. 1989.)

———. *AMX: desenvolvimento e construção da aeronave de ataque*. Brasília, 1989b. (Palestra realizada na Comissão de Defesa Nacional da Câmara dos Deputados, 31 maio 1989.)

Mello, Ajax Barros de. *Programa AMX: desenvolvimento e construção de aeronave de ataque*. Brasília, 1989. (Palestra realizada na Comissão de Defesa Nacional da Câmara dos Deputados, 31 maio 1989.)

Menahem, Georges. *La ciencia y la institución militar*. Barcelona, Icaria, 1977.

Menezes, Lauro Ney. A indústria aeroespacial brasileira; sua *rationale*. *Política e Estratégia*, *2*(3), jul./set. 1984.

———. Pensamento original: elemento de sobrevivência para o poder aeroespacial brasileiro. *Política e Estratégia*, *3*(4), out./dez. 1985.

———. Na estratégia de domínio do espaço: a quem pode (não) interessar o programa brasileiro? *Política e Estratégia*, *6*(1), jan./mar. 1988.

Monteiro, Tânia. Itamar aprova criação de agência espacial. *O Estado de S. Paulo*, 3 abr. 1993.

Nascimento, Paulo Tromboni de Souza. *Identificação de fatores relevantes no desenvolvimento de capacidade industrial espacial*. São José dos Campos, Inpe, 1985. (Dissertação de Mestrado.)

Pasqualucci, Elcio. Relacionamento entre institutos de pesquisa e empresas industriais em São José dos Campos: o caso do setor aeroespacial. São José dos Campos, Inpe, 1986. mimeog.

Saraiva, José Drummond. O desenvolvimento industrial bélico. In: NEE/Unicamp. Brasil no século XXI: ciência e tecnologia como variável estratégica no pensamento militar brasileiro. Campinas, Unicamp, 1989. mimeog. (Projeto Avaliação e Perspectivas em Ciência e Tecnologia.)

Unicamp. Faculdade de Engenharia Mecânica. Departamento de Energia. Área Interdisciplinar de Planejamento de Sistemas Energéticos. Estudo preliminar sobre a atual situação do setor elétrico brasileiro. Campinas, Unicamp, 1991. mimeog. (Doc. nº R84-UCO-500GE-400-001.)

Vaz, Alcides Costa. Condicionantes das posições brasileiras frente ao desarmamento, regimes de controle de exportações e segurança regional. *Premissas*. NEE/Unicamp, caderno 4, ago. 1993.

Viegas Filho, José. Não-proliferação e tecnologias sensíveis — apresentação. *Política Externa*, *1*(4), mar./abr./maio 1993.

Wanty, E. *L'art de la guerre*. Verviers, Marabout Université, 1968.

Química

*José M. Riveros**

1. Introdução

A química é uma ciência que desempenha um papel expressivo na atividade econômica do Brasil. Sua contribuição tem sido marcante no parque industrial do país, cobrindo uma ampla gama de setores, como a petroquímica, as indústrias farmacêutica, têxtil, de tintas, de borrachas, de plásticos, de alimentos, de papel, de couro, de defensivos agrícolas e fertilizantes, e de óleos e combustíveis.

A função histórica da química como ciência priorizou a transformação de matérias-primas básicas (petróleo, carvão mineral, extratos de plantas, minérios, gás natural etc.) em produtos finais de utilidade prática. As transformações químicas são decorrentes de processos desenvolvidos em escalas que vão desde bancadas de laboratório até plantas-pilotos e unidades de grande porte. A maior inovação recente da química deriva da importância crescente do domínio das técnicas de preparação ou fabricação de produtos químicos de elevado valor agregado, produzidos geralmente em pequena escala, e que podem funcionar como intermediários de produtos finais considerados quimicamente nobres e altamente demandados. Essa evolução traz consigo uma transformação substancial de tecnologia e de métodos com relação à abordagem dos produtos da indústria química pesada, hoje considerados *commodities.* Outro fator importante para o papel da química na vida moderna tem sido a consciência crescente sobre a importância de conciliar a fabricação e uso de produtos químicos e de recursos naturais com a preservação do meio ambiente e das condições de vida da população.

A química reúne hoje um conjunto de disciplinas afins que têm forte interdependência e que nem sempre obedecem a uma separação nítida. Entretanto, no Brasil, a compartimentalização da química é visível no ensino superior universitário e técnico, seguindo uma visão histórica aceita globalmente:

- a química como ciência básica;

- a engenharia química, orientada principalmente para estudos de processos industriais e para a formação de profissionais;

* Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

• a química farmacêutica, orientada para o treinamento de especialistas em áreas como análises clínicas e de alimentos, e atuante na área de fármacos;

• a química técnica ou tecnológica, voltada para a formação de técnicos em especialidades industriais definidas (papel, couro, têxteis etc.); e

• a bioquímica, cuja origem no Brasil remonta às faculdades de medicina ou às faculdades de farmácia, e que hoje recebe uma importante contribuição da biologia molecular, avançando rapidamente através da biotecnologia.

Na prática, a artificialidade dessa separação fica visível em função da interdisciplinaridade que caracteriza a ciência e a tecnologia, conduzindo a equívocos com relação ao que se espera de cada especialidade.

Ao contrário de outras ciências básicas, a química ostenta uma dualidade importante na sua atuação como ciência e como tecnologia e a ela se deve, em parte, a dificuldade, no Brasil, especialmente no âmbito empresarial, em estabelecer uma visão clara do papel reservado à pesquisa básica, e sua atuação em atividades de P&D, e o das aplicações que daí decorrem para o setor industrial. O modelo de industrialização acelerada que vigorou no Brasil nos anos 60 — marcado pela importação maciça de tecnologia — acentuou a dicotomia entre ciência e tecnologia e as barreiras na interação entre os setores acadêmico e industrial. A idéia de que a evolução da química implica um aperfeiçoamento daquele modelo industrial conduziu à formulação de políticas governamentais para o setor, como o caso da química fina. As dificuldades de comunicação entre os setores acadêmicos e industrial na área da química fina e a ambigüidade na definição desse conceito talvez constituam os melhores exemplos da complexidade do papel da química no Brasil.

A avaliação do estado-da-arte da química no Brasil é o tema deste trabalho, que reflete principalmente a situação no setor acadêmico, responsável pela geração e disseminação dos conhecimentos na área e pela formação das gerações futuras do país. Essa avaliação é necessariamente qualitativa, já que pretende analisar de maneira crítica a situação dos programas desenvolvidos nas universidades e nos institutos de pesquisa, a partir dos dados que constam dos relatórios dos programas de pós-graduação enviados para o CNPq e para a Capes e das tendências sugeridas pelas próprias agências de fomento à pesquisa.

2. Breve retrospectiva histórica

O desenvolvimento da química como ciência básica tem sido considerado uma prioridade nos últimos 35 anos na ótica de várias agências federais de financiamento à pesquisa e de organizações internacionais. De um lado, o crescimento do parque industrial brasileiro criou uma demanda de pessoal qualificado para o desenvolvimento, adaptação e controle de processos e tecnologias. De outro, a

criação de uma indústria química nacional de base e a importância do desenvolvimento de tecnologias de ponta para o futuro do país representaram um forte estímulo para a capacitação nacional em química. Esses fatores levaram ao desenvolvimento de linhas de atuação e ações específicas para a química, além da implantação de programas de fomento comuns às diversas áreas do conhecimento. Apesar dessas iniciativas, quase sempre vinculadas a programas de pós-graduação, a química recebeu um volume de recursos muito inferior aos da física, tanto do CNPq quanto da Finep.

A situação atual da química no Brasil reflete as ações estratégicas das diversas agências de fomento federais e estaduais, cujos programas específicos para a área promoveram um avanço importante. Em 1969, o CNPq lançou um ambicioso programa de colaboração internacional com a National Academy of Sciences, dos EUA, orientado especificamente para a química, com o objetivo de produzir um salto qualitativo em áreas de pesquisa consideradas de vanguarda. Pretendia-se abrir novos horizontes para a química do Brasil e criar um modelo da infra-estrutura requerida por programas de pesquisa que viessem a atender às futuras necessidades do país. O programa envolveu a participação de cientistas norte-americanos de renome, vinculados a instituições de grande prestígio como o Instituto Tecnológico da Califórnia e a Universidade de Stanford, bem como de jovens pesquisadores estrangeiros de talento, além de um investimento significativo em equipamentos e insumos. Essa iniciativa se concentrou em um número reduzido de grupos de pesquisa, situados em São Paulo e no Rio de Janeiro, e encerrou-se em 1977. O programa se orientava para a pesquisa básica e visava ao treinamento de alunos de pós-graduação em linhas de pesquisa inexistentes ou ainda incipientes no Brasil, a partir do pressuposto de que a química se encontrava, no país, em um patamar inferior ao das outras ciências básicas, como a física, a matemática ou as ciências biológicas, e em descompasso com a realidade internacional.

Os resultados desse programa patrocinado pelo CNPq foram modestos em termos do número de alunos de pós-graduação treinados e coincidiram com a implantação da pós-graduação formal no país, inicialmente com o apoio institucional do BNDE e, mais tarde, da Finep. Entretanto, dois marcos importantes foram estabelecidos por esse programa:

• a abertura de áreas de pesquisa em síntese orgânica, mecanismos de reações inorgânicas, fotoquímica e físico-química teve um efeito multiplicador expressivo em função da grande influência que essas linhas de pesquisa e seus líderes tiveram no país e da absorção de jovens pesquisadores estrangeiros que optaram por pemanecer no Brasil;

• o programa implicou um salto de qualidade, graças à excelência das pesquisas desenvolvidas por alguns grupos, muitas delas com seus resultados publicados em revistas internacionais altamente conceituadas.

No início dos anos 80, discutiu-se, no CNPq, a criação de um instituto de pesquisas químicas, à semelhança dos outros institutos do CNPq, com o objetivo de acelerar o desenvolvimento da química no Brasil. A idéia era apoiar programas de pesquisa básica, privilegiando tópicos considerados como prioritários para o país, nos quais as carências eram mais agudas, como alcoolquímica, carboquímica e catálise. Essa proposta foi transformada em um programa de nível nacional de apoio à química e engenharia química, o Programa Nacional e Apoio à Química (Pronaq). Entre seus principais resultados, destacam-se a criação de uma infra-estrutura de bibliotecas, a manutenção de equipamentos e a disponibilidade de reagentes químicos para os grupos de pesquisa existentes, além da criação de linhas de fomento para a capacitação de recursos humanos nas áreas identificadas como prioritárias para o país. O Pronaq foi desativado a partir da implantação do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT).

Mais recentemente, a implantação do PADCT privilegiou a química e a engenharia química com um volume expressivo de recursos em seus cinco primeiros anos, acrescidos de incentivos adicionais derivados de subprogramas de apoio à infra-estrutura criados dentro do PADCT, como os de manutenção, insumos, instrumentação e informação, com impacto direto na química.

A sistemática introduzida pelo PADCT representou uma mudança importante em relação aos programas anteriores da Finep e do CNPq, na medida em que pretendia estimular o apoio às instituições de pesquisa com base em critérios competitivos, através do julgamento de propostas induzidas por editais. Ao mesmo tempo, o PADCT não estabeleceu prioridades com relação a linhas de pesquisas, atuando apenas em função da qualidade e exeqüibilidade das propostas. Os efeitos deste programa ainda são de difícil avaliação face à lentidão na liberação da contrapartida nacional e na importação de equipamentos. É preciso reconhecer que, na química, o PADCT viabilizou a atualização dos equipamentos de grande porte, a instalação de centrais analíticas modernas, o apoio a programas de pós-graduação e, em menor escala, aos de graduação, além de um importante aporte para as bibliotecas e o aparelhamento da engenharia química com um instrumental moderno.

O cenário da química no Brasil transformou-se substancialmente com a criação, em 1977, da Sociedade Brasileira de Química, que atualmente congrega um número expressivo de químicos que atuam principalmente na área básica. A partir da década de 80, o papel da SBQ no panorama nacional como porta-voz do segmento vinculado à pesquisa básica ganhou maior importância, e a sociedade passou a editar periódicos de grande aceitação na comunidade científica. A SBQ tem-se sobressaído na elaboração de propostas que visam ao desenvolvimento básico da química a curto, médio e longo prazos e na realização de congressos nacionais com grande participação de cientistas da área. Nos últimos anos, a Associação Brasileira de Química (ABQ) também vem demonstrando grande vitalidade em seus congressos e na sua vocação para atuar na interface da química acadêmica com o setor industrial.

Um dos marcos importantes da engenharia química foi a criação da Coppe, no Rio de Janeiro, que conseguiu implantar um programa de pós-graduação de qualidade inédito no país. Por sua vez, a Escola Nacional de Química do Rio de Janeiro contribuiu de maneira relevante para a formação de químicos industriais, que vieram a constituir o alicerce da indústria química nacional. A engenharia química se fortaleceu bastante com o Pronaq e o PADCT, e recebeu um grande impulso a partir da criação de vários centros de pós-graduação no estado de São Paulo.

3. Áreas de atuação da química no Brasil

Um estudo realizado por Seidl (1991) para a Finep faz uma descrição pormenorizada das linhas de pesquisa em química existentes nas universidades e institutos de pesquisa brasileiros, além de incluir uma análise da distribuição geográfica das linhas de pesquisa e de atualizar informações levantadas no volume da série *Avaliação e Perspectivas* referente à área de química, publicado em 1982 (Mors, 1982).

A pesquisa e o desenvolvimento da química básica tem sido classificada historicamente em quatro grandes áreas (excluindo a bioquímica): química analítica, química orgânica, físico-química e química inorgânica. Trata-se de uma divisão reconhecidamente artificial devido a interdisciplinaridade crescente de novas linhas de pesquisa em química e dos seus objetivos. No entanto, ela serve para identificar algumas das linhas principais no Brasil.

Química analítica

Até recentemente a química analítica caracterizou-se, no Brasil, por uma visão muito clássica de sua função e bastante restrita no seu escopo, na medida em que se identificava principalmente com o desenvolvimento de técnicas de especificação de substâncias inorgânicas por vias químicas. Essa abordagem tradicional, embora obsoleta, lamentavelmente persiste no ensino de graduação em um grande número de instituições brasileiras, não obstante os imensos desafios que existem na química, que exigem soluções cada vez mais criativas de química analítica. Na pós-graduação, predomina um enfoque mais afinado com a realidade atual, que vem atraindo um número apreciável de profissionais do meio industrial.

Uma das peculiaridades dessa área é a baixa representatividade geográfica: a pesquisa acadêmica se desenvolve apenas na Bahia (UFBA), no Rio de Janeiro (PUC), em Brasília (UnB), Minas Gerais (UFMG) e São Paulo (nos diversos *campi* da USP, Unicamp, Unesp e UFSCar). Entretanto, centros de apoio como o IPT, em São Paulo, e o Ceped, na Bahia, e centros especializados como o Ipen, em São Paulo e Cenpes e IRD/Cnem no Rio de Janeiro, ou empresas de controle ambiental e saneamento básico, como a Cetesb, em São Paulo, também apresen-

tam uma intensa atividade em química analítica, da mesma forma que empresas do setor químico, estas últimas especialmente no que se refere a controle de qualidade de produtos.

A maioria das pesquisas em química analítica no Brasil se concentra em técnicas eletroanalíticas, entre elas a polarografia, potenciometria e voltametria cíclica e os aspectos mais recentes visando ao desenvolvimento de eletrodos seletivos, incluindo os de enzimas, que têm crescido significativamente nas universidades.

A introdução de técnicas de injeção de fluxo pelo grupo do Cena de Piracicaba, merece destaque especial. Esse grupo criou um *know-how* próprio, atualmente em fase de expansão, utilização e desenvolvimento em outros centros do país, e que vem sendo empregado em problemas importantes como o monitoramento praticamente *in situ* de alumínio presente no aço nacional.

Outras linhas de trabalho também merecem ser mencionadas, ainda que envolvendo grupos menores, como é o caso das técnicas de absorção atômica e de emissão atômica por plasma, desenvolvidas pela PUC/RJ, USP e Esalq. Essas técnicas vêm despertando grande interesse por parte de indústrias químicas e metalúrgicas. Esse é também o caso das técnicas termoanalíticas usadas principalmente na USP e na Unesp e que freqüentemente são empregadas por laboratórios associados às indústrias. Já o uso de técnicas radioquímicas para fins analíticos (caso da ativação por nêutrons, no Ipen) se limita a centros que dispõem de facilidades para lidar com material radioativo ou que possuem um reator para geração de nêutrons. Técnicas de separação, em especial as que envolvam diversas formas de cromatografia, também tiveram um desenvolvimento expressivo nos últimos 10 anos, embora restrito a poucos centros.

A química ambiental cresceu no país a partir da preocupação mundial com a preservação do meio ambiente. Um componente essencial nesse campo é o monitoramento de espécies químicas presentes na atmosfera como conseqüência da poluição urbana. Os efeitos da chuva ácida e estudos relacionados com a contaminação das bacias hidrográficas do Brasil também constituem áreas de pesquisa implantadas nos últimos anos. Diversas técnicas têm sido introduzidas para os estudos na química ambiental e vários grupos de pesquisa têm-se beneficiado de programas de colaboração internacional e de organizações mundiais, uma vez que o Brasil representa um laboratório extremamente diversificado para a química ambiental.

Na Unicamp, foi implantada uma linha de pesquisa em quimiometria, um método muito útil para reconhecimento de padrões através da análise matemática de dados analíticos, ao mesmo tempo em que já é possível apreciar os primeiros resultados obtidos pelos grupos dedicados à automação analítica.

A evolução da química analítica tem sido muito lenta, quando comparada com a de outras áreas da química, em termos de tópicos, metodologia e distribuição geográfica. A densidade de pesquisadores é baixa e a produtividade em termos de publicações de nível internacional também, configurando deficiências

sérias na área. Por exemplo, não há quase nenhuma atividade em espectrometria de massa e todas as suas inovações para fins analíticos, nas técnicas de caracterização de superfícies e no desenvolvimento de metodologias de multielementos para determinações analíticas. Não surpreende, assim, que a contribuição de pesquisadores brasileiros na revista de maior prestígio da área, *Analytical Chemistry*, tenha sido praticamente nula nos últimos anos.

Química orgânica

Seguindo a tendência da maioria dos países industrializados, também no Brasil a química orgânica é a maior área da química em termos de número de pesquisadores e de distribuição geográfica. É possível identificar três grandes linhas da química orgânica no Brasil: a química de produtos naturais, que ocupa, historicamente, um papel importante no desenvolvimento da pesquisa no Brasil e reúne um número expressivo de pesquisadores, além de ser extremamente relevante para o país; a síntese orgânica; a físico-química orgânica.

A área de *produtos naturais*, cujo objetivo principal é o estudo, caracterização e isolamento das substâncias químicas presentes em plantas e, em menor escala, nas espécies de origem animal ou marinha, inclui desde o isolamento de substâncias em microescala até a obtenção de produtos usados em escala industrial.

Nos países desenvolvidos, que, em sua maioria, não dispõem de uma diversidade de espécies comparável à do Brasil, a área de produtos naturais é um ponto de referência para a síntese em laboratório de produtos naturais e para a possibilidade de introduzir modificações estruturais nessas moléculas, de maneira a produzir substâncias com atividade biológica específica através de técnicas de biossíntese e biotecnologia. A metodologia necessária para pesquisas de fôlego nesta área requer atualmente equipes multidisciplinares integrada por químicos, botânicos, biólogos e farmacólogos, e uma definição clara dos objetivos visados, uma vez que as opções de estudos são enormes.

A pesquisa em produtos naturais está dispersa por todo o Brasil: no Norte (notadamente no Inpa e na UFPa), no Nordeste (UFCe e UFPb) e no Sudeste (UFRJ, UFRRJ, UFMG, UFF, UFSCar, Unicamp e USP). Trata-se, portanto, de uma área bastante ativa em todas as regiões do país, embora existam grandes diferenças em termos de infra-estrutura e do número de pesquisadores. Um programa para essa área, que se apóia em recursos analíticos sofisticados, requer laboratórios funcionando como verdadeiros institutos de pesquisa, departamentos, ou laboratórios especiais.

Essa área tem dado origem a um grande número de publicações em revistas especializadas e de teses de mestrado e de doutoramento, com ênfase, em anos recentes, em certas famílias botânicas responsáveis por uma química bastante rica na área de terpenos. Paralelamente, surgiram tendências interessantes, como o uso de produtos naturais no controle de pragas, e a sistematização da evolução

química e botânica de famílias da flora brasileira, em um trabalho integrado de química e botânica. De outro lado, vem crescendo, de maneira até preocupante, a simples caracterização química dos componentes encontrados em plantas brasileiras, sem uma justificativa definida sobre o eventual interesse desses sistemas.

As técnicas de separação dos componentes químicos estão bem difundidas no país, envolvendo freqüentemente um trabalho penoso para a obtenção de quantidades suficientes para análise e eventuais transformações químicas posteriores. O grande obstáculo enfrentado pela química de produtos naturais no Brasil tem sido a carência de instrumental adequado para as análises, em especial, em ressonância magnética nuclear, cromatografia líquida de alta pressão, espectrometria de massa e, em menor escala, cristalografia de raios X, obrigando, no passado, à busca de parcerias no exterior.

Nos últimos cinco anos, houve uma renovação significativa dos equipamentos de vários laboratórios, especialmente no Sudeste, criando-se boas condições de trabalho em ressonância magnética nuclear (RMN) e cromatografia líquida em diversos centros do Brasil e a perspectiva de instalação de um RMN de 500MHz irá beneficiar de imediato essa área. Já na espectrometria de massa prevalece uma enorme escassez de especialistas para realizar e interpretar experiências avançadas a partir do uso dessa técnica, e a maioria dos instrumentos em funcionamento é utilizada apenas para análises rotineiras.

Nos últimos 20 anos, a *síntese orgânica* tem tido uma evolução importante no Brasil, com o surgimento de diversos grupos, sobretudo no Centro-Oeste (UnB) e Sudeste (UFRJ, UFSCar, Unicamp e USP). Existe atualmente no país uma base sólida que acena com um grande potencial para a área. Embora a grande meta ainda seja a realização de uma síntese total, rotas e metodologias vêm sendo estabelecidas por pesquisadores nacionais. O Encontro Brasileiro de Síntese Orgânica de 1992, em Campinas, comprovou a evolução em qualidade dessa área no Brasil, cujo crescimento representou um avanço importante na capacitação para a preparação de substâncias e intermediários químicos, muitos dos quais de interesse direto para a química fina. O uso de reagentes especiais para este fim, e de métodos fotoquímicos e eletroquímicos, já está bastante difundido em diversos grupos.

A área de síntese tem uma grande dependência da disponibilidade de reagentes específicos. Devido a dificuldades de importação rápida, os pesquisadores têm sido obrigados a efetuar compras programadas para manter um estoque enorme de reagentes e garantir a continuidade de trabalhos, na tentativa de superar um problema que constitui um entrave comum para os trabalhos nesta área.

Algumas das características apontadas para produtos naturais são comuns para a área de sínteses. A demanda por instrumental de análise sofisticado (RMN, espectrometria de massa, análise elementar) é grande e essencial para o sucesso nessa área, e também nela ainda não está suficientemente desenvolvido no Brasil

o uso de inteligência artificial para detalhar as etapas ou os caminhos mais apropriados a serem seguidos em uma determinada síntese.

A terceira grande área é a *físico-química orgânica*, cuja definição é mais difusa, já que congrega assuntos que vão desde a espectroscopia aplicada a sistemas orgânicos até cinética e mecanismo de reações a fenômenos interfaciais em soluções de detergentes e fotoquímica, alguns dos quais se encaixam, pela sua própria natureza, na físico-química.

No Brasil, essa área tem-se destacado por um alto índice de produtividade, em especial no Sudeste (USP) e Sul (UFSC). Entre as especialidades que atingiram maior excelência está a que envolve aspectos diversos da físico-química de micelas e tensoativos, enquanto a área de velocidade e catálise de reações nestes meios e no uso destes sistemas como modelos de membranas também tem estado bastante ativa, com a formulação de modelos teóricos para explicar a troca de íons em fase micelar, e a realização de trabalhos fotoquímicos em soluções micelares e de fenômenos de química coloidal. Indicadores do desenvolvimento desse campo são o número de colaborações nacionais e internacionais existente entre os grupos e o fato de ter sido esta uma das áreas escolhidas como tópico de *workshop* entre pesquisadores do Brasil e dos Estados Unidos, por inciativa da Presidência da República.

O uso de técnicas espectroscópicas para fins de análise conformacional e a utilização de mecânica molecular também estão em franca evolução no país.

Físico-química

Entre as áreas da química, foi a físico-química a que mais cresceu e se diversificou no Brasil, abrangendo desde projetos desenvolvidos em departamentos de física até alguns nas áreas de biofísica e bioquímica. Suas especialidades mais importantes podem ser sintetizadas nas seguintes categorias: espectroscopia, química teórica e eletroquímica.

Na *espectroscopia*, há uma apreciável atividade em espectroscopia vibracional, eletrônica e de impacto de elétrons, com destaque para grupos no estado de São Paulo, e nas cidades do Recife e Rio de Janeiro. Nessas áreas existe uma tradição estabelecida e laboratórios com uma infra-estrutura razoável. Em vários casos, e até por motivos históricos associados com a origem dos grupos, existe uma forte interação com físicos. O uso de *lasers* em vários desses laboratórios tem permitido maior poder de resolução nas experiências e o início da espectroscopia com resolução temporal, com interesse direto na área de fotofísica. Apesar de ser uma área com reconhecida competência no país, as técnicas mais recentes de espectroscopia de *laser* de alta resolução e a de feixes supersônicos ainda são incipientes no Brasil.

Considerando que até 20 anos atrás a *química teórica* era praticamente inexistente no Brasil, esta área teve um crescimento rápido. Essencialmente restrita a químicos e físicos computacionais, a comunidade de químicos teóricos se loca-

liza principalmente no estado de São Paulo, e nas cidades do Rio de Janeiro, Recife e Belo Horizonte, e tem produzido trabalhos de boa qualidade, em que pesem as severas limitações impostas pelos recursos computacionais existentes até recentemente no país.

A *eletroquímica* é a especialidade mais antiga da físico-química no país, embora, atualmente, esteja fortemente concentrada em poucos centros. O maior número de pesquisadores em eletroquímica está na USP-São Carlos, na USP-São Paulo e na UFSCar, trabalhando em eletrocatálise, pilhas de combustível e geração de hidrogênio. Os demais centros importantes também estão na região Sudeste, e até em institutos de física, como no caso da Unicamp. Comparado com outras especialidades em físico-química, o instrumental necessário é de custo relativamente mais baixo. As aplicações tecnológicas da eletroquímica a tornaram uma área de grande interesse no país, e uma das conseqüências da pesquisa nesse setor tem sido o crescimento de estudos associados com corrosão, utilizando técnicas avançadas.

Outras especialidades da físico-química têm estado restritas a grupos pequenos ou quase únicos no país, como o de colóides, com um bom desempenho na área de cristais líquidos e, mais recentemente, na evolução do estudo de sóis e géis. A termoquímica e a termodinâmica são áreas de especialização com grande competência instalada, embora os trabalhos de pesquisa estejam concentrados quase exclusivamente no estado de São Paulo. A físico-química de superfícies também experimentou um grande salto de qualidade, embora basicamente concentrado na Unicamp.

Entre as áreas deficitárias da físico-química, está a dinâmica molecular de reações, dos pontos de vista experimental e teórico. Os equipamentos para esse tipo de experiência são de custo elevado, embora sua construção gere tecnologia de ponta. Há também pouca atividade na de superfícies ao nível molecular, envolvendo técnicas espectroscópicas e para o estudo da dinâmica de fenômenos que ocorrem nessas superfícies. A aplicação dos novos tópicos em mecânica estatística como dinâmica molecular também ainda está em estágio incipiente.

Química inorgânica

A química inorgânica é uma área ainda muito carente, reunindo um número relativamente pequeno de pesquisadores no Brasil, considerando o crescimento do setor de materiais inorgânicos. Abrange as seguintes linhas principais de pesquisa: cinética e mecanismo de reações de complexos inorgânicos; química de coordenação de terras raras; química organometálica; química do estado sólido.

As pesquisas em *cinética e mecanismo de reações de complexos inorgânicos* têm-se concentrado no estudo de complexos de ferro, de rutênio e de cobalto, com destaque recente para as reações de transferência de elétrons e o uso de técnicas capazes de acompanhar reações rápidas. Mais recentemente,

esses estudos foram ampliados para a caracterização dos comportamentos fotoquímico, eletroquímico e espectroscópico desses complexos. Complexos de ferro também têm sido utilizados em estudos de bioinorgânica, uma área de enorme interesse atual e em franca expansão, com trabalhos de boa qualidade realizados sobretudo na USP-São Paulo, além de uma atividade intensa na Unicamp, UFRGS, Unesp, UFMG, UFSCar, USP-São Carlos e USP-Ribeirão Preto. Apesar do pequeno número de pesquisadores, a área já conquistou reconhecimento internacional.

A área de *química de coordenação de terras raras* foi iniciada na USP nos anos 50 e tem um interesse especial para o Brasil, pela riqueza existente em terras raras. Os principais grupos estão no estado de São Paulo e na cidade do Recife, este último dedicado ativamente a estudos de espectroscopia desses compostos. A contribuição mais importante nessa área tem sido a caracterização sistemática de aductos com terras raras.

A área de *química organometálica* teve um enorme progresso no cenário mundial nos últimos 30 anos e é especialmente importante para o campo da catálise. Pouco tem-se investido nessa área e é pequeno o número de grupos que se dedicam a esta especialidade, com atividades na Unicamp, Unesp e UFRGS.

A *química do estado sólido* é uma especialidade recente no país, de grande interesse pela aplicação potencial na área de novos materiais e de compostos não-esteiquiométricos. Os grupos que atuam nessa área freqüentemente se associam com pesquisadores da física, para fins de caracterização e utilização de novas substâncias. Essa área inclui também o estudo de vidros, e cresce o número de pesquisadores trabalhando com zeólitos e reações nestes ambientes, como é o caso da Unicamp. Existem também algumas iniciativas na área de silicatos e, de forma mais incipiente, na área de *clusters* metálicos no estado de São Paulo. Essas iniciativas foram apoiadas pelo Pronaq, pelo Programa de Insumos para Microeletrônica da Finep e, mais recentemente, pelo Programa de Novos Materiais do PADCT e pelo RHAE.

A química inorgânica requer um aumento expressivo, e a curto prazo, do número de pesquisadores em algumas das linhas apontadas acima. Um dos maiores entraves na parte instrumental tem sido a determinação de estruturas por difração de raios X em monocristal, já que apenas o grupo de cristalografia de São Carlos atua neste campo e não tem condições de atender à grande demanda para determinações estruturais.

Outras áreas importantes da química

Algumas especialidades não se enquadram rigorosamente em quaisquer dessas categorias e devem ser consideradas em separado. A radioquímica tem tradição no Brasil, e sua área de atuação extrapola a química analítica, desenvolvendo-se principalmente nos laboratórios ligados à Cnen. A catálise, por sua vez,

envolve pesquisadores de química (principalmente em catálise homogênea) e de engenharia química (catálise heterogênea), empregando técnicas muito variadas. Apesar do grande destaque dado a esta área, o número de pesquisadores ainda é muito pequeno.

Química macromolecular e polímeros. A química de polímeros desempenha um papel preponderante nas atividades industriais no Brasil, e nela se incluem aspectos básicos de substâncias utilizadas por setores como plásticos, borrachas, adesivos e tintas, até aspectos relacionados com a própria engenharia de plásticos. Durante muitos anos as atividades de pesquisa acadêmica estiveram praticamente restritas ao IMA da UFRJ, que enfrentou enormes dificuldades para manter seu corpo docente face à demanda do setor produtivo por químicos dessa especialidade. Avanços importantes têm sido feitos por grupos de pesquisa na Unicamp, trabalhando com blendas poliméricas e com os efeitos de irradiação em polímeros. Outro centro que se tem destacado é o da UFRGS, onde a pesquisa em química de polímeros tem representado um incentivo direto ao pólo petroquímico de Porto Alegre. Lá, a colaboração de cientistas renomados da Alemanha permitiu o treinamento e o início de pesquisas de bom nível neste campo, que está intimamente ligado à área de novos materiais.

Fotoquímica. Essa especialidade abrange diversos grupos no Brasil, com interesses de caráter sintético (USP, UFRJ, Unicamp), mecanístico e de reações quimiluminiscentes (USP-São Paulo e São Carlos), e fotofísico (Unicamp, USP e UFPe) até a fronteira com fenômenos biológicos e efeitos em macromoléculas.

Engenharia química

O desenvolvimento da engenharia química no nível de pós-graduação e como geradora de conhecimentos no âmbito acadêmico está muito vinculado à criação da Coppe, no Rio de Janeiro, cujo esforço concentrado acabou catalisando a atuação de outros centros de excelência no país, como USP, Unicamp e UFSCar, e de algumas instituições com potencial interessante, como as Universidades Federais de Minas Gerais e Uberlândia. As áreas mais destacadas em pesquisa no Brasil são as de modelagem de processos, catálise e termodinâmica.

A engenharia química ainda está longe de ter atingido uma massa crítica suficiente e tem sido alvo de críticas pela sua baixa produtividade em publicações em periódicos. Entretanto, ela vem desempenhando um papel importante na criação e desenvolvimento de tecnologia.

4. Avaliação da infra-estrutura para a pesquisa em química

Qualquer tentativa de avaliação do estado-da-arte das diversas especialidades da química requer uma análise da infra-estrutura física e instrumental disponível e do capital humano existente nos centros de pesquisa. Levantamento recente realizado a respeito da infra-estrutura existente para trabalhos de pesquisa em química contém dados reveladores. Segundo dados tabulados por Cagnin (1993), na opinião dos pesquisadores brasileiros, suas condições de trabalho deixam muito a desejar. Com base nas respostas de 168 pesquisadores ativos no Brasil, o fator infra-estrutura foi considerado ruim por 38,1% deles e regular por outros 38,1% . Apenas 21,4 % dos pesquisadores brasileiros consideraram boa a infra-estrutura e 2,4% a classificaram como péssima. Prevaleceram pesquisadores do Nordeste e do Sul entre os que consideraram sua infra-estrutura de trabalho ruim.

Avaliações estatísticas dessa natureza refletem opiniões subjetivas de pesquisadores e não permitem conhecer em detalhe as principais causas. Alguns aspectos, contudo, podem ser analisados de maneira conjunta.

Grande parte dos laboratórios das universidades e institutos de pesquisa no Brasil são simplesmente inapropriados para quase qualquer tipo de programa de pesquisa. A situação é particularmente alarmante no Nordeste (Bahia, Sergipe, Alagoas, Paraíba e, até certo ponto, Ceará). Muitos dos prédios que abrigam os laboratórios têm instalações incompatíveis com o seu uso para pesquisa. Problemas de ventilação e exaustão, de iluminação, controle de temperatura, e de instalações elétricas e hidráulicas são crônicos até em instituições de construção mais recente. Os problemas ligados à rede elétrica nas universidades são particularmente sérios e decorrem da visão estereotipada de que a química se faz com tubos de ensaio e balões. A verdade é que os laboratórios construídos para a química, na sua grande maioria, não foram dimensionados para abrigar instrumental moderno e de precisão, e, freqüentemente, instrumentos delicados e de grande porte ficam comprometidos em função de instalações elétricas defeituosas. Por sua vez, as próprias universidades quase nunca dispõem de um corpo técnico capaz de resolver problemas como esses, que exigem engenharia especializada e normas de segurança rigorosas. O clima da maior parte do país exige a instalação de condicionadores de ar nos laboratórios de instrumentação; nas instituições de menor porte, os prédios sequer foram dimensionados para isso.

Essas críticas também se aplicam às instalações básicas nos laboratórios. A inexistência de capelas adequadas, mesmo para trabalhos rotineiros, é comum, obrigando os pesquisadores a importarem capelas portáteis para aplicações mais delicadas.

As normas de segurança dos laboratórios de pesquisa são precárias. A remoção e tratamento de resíduos químicos e a recuperação e descarte de solventes são problemas diários de difícil solução, dada a ausência de rede de esgoto apropriada ou de facilidades de incineração. As modificações estruturais necessárias são complexas e as soluções paliativas que têm sido adotadas são, quase sempre, precárias. O investimento necessário para a recuperação ou correção das instalações elétricas e hidráulicas é, indiscutivelmente, elevado. Os laboratórios de

diversos institutos governamentais ligados à química são, em alguns casos, ainda piores que os universitários e contrastam com os laboratórios de grandes empresas do setor químico (multinacionais, em geral) para controle de qualidade ou desenvolvimento de produtos.

A visão das agências governamentais de fomento, de que as condições de infra-estrutura são responsabilidade da instituição hospedeira, se revela irreal na maioria dos casos, uma vez que, excetuando-se algumas universidades mais privilegiadas, não há a menor condição de se aprimorar as instalações e infra-estrutura dos laboratórios universitários com base nos recursos orçamentários das universidades.

Um segundo componente a ser analisado se refere ao material e instrumental disponível para trabalhos de pesquisa. Nesse item, as condições se diferenciam em função da localização geográfica e se vinculam à capacidade de obtenção de recursos externos por parte das instituições. O problema da disponibilidade de reagentes químicos continua sendo um entrave importante no desenvolvimento de projetos, que afeta a flexibilidade para experimentar novas idéias ou rotas alternativas. Problema sério mesmo em algumas instituições em São Paulo e no Rio de Janeiro, a situação se torna crítica em centros mais afastados. Nos últimos anos, o funcionamento do Sistema de Armazenamento e Distribuição de Insumos (Sardi) representou uma abertura importante que, em momentos difíceis, deu alívio para muitos grupos de pesquisa. Apesar dos grandes avanços com relação à importação, os pesquisadores ainda se ressentem da ausência de mecanismos que permitam a aquisição rápida de reagentes no exterior. Trata-se de um impasse antigo, que coloca em xeque a consistência burocrática do Estado brasileiro, em que pesquisas financiadas com recursos públicos e consideradas de interesse para o país são, na prática, inviabilizadas por disposições burocráticas de outras agências estatais.

Além disso, a disponibilidade de reagentes químicos no mercado nacional é muito limitada e de qualidade discutível. Excluindo a reembalagem de produtos importados, cujos preços são abusivos, o teor de impurezas dos solventes nacionais é, em geral, muito elevado. Até os gases industriais fabricados por subsidiárias de multinacionais especializadas nesta área não se comparam aos produtos existentes para pesquisa nos países mais avançados. É o caso do nitrogênio usado nos laboratórios de pesquisa: mesmo o nitrogênio de melhor qualidade possui teores de umidade muito acima das especificações internacionais e comprometem preparações que requerem atmosfera inerte.

As condições da vidraria para laboratório não são muito diferentes, embora tenham melhorado bastante, em conseqüência do desenvolvimento da indústria nacional. Contudo, a qualidade ainda é regular e a diversidade pequena, sendo comum, por exemplo, encontrar juntas de vidro esmerilhado com uma incidência elevada de encaixes defeituosos.

A disponibilidade de instrumentação moderna teve um grande avanço nesses últimos anos. Os recursos alocados via PADCT e, no caso do estado de São

Paulo, via Fapesp, através dos auxílios temáticos e projetos especiais, resultaram em inovações importantes em muitos laboratórios. Atualmente, vários dos laboratórios de pesquisa no estado de São Paulo contam com instrumental perfeitamente compatível (às vezes até superior) com aquele existente em muitas instituições de nível médio em países avançados, embora freqüentemente sem recursos suficientes para operar este instrumental. Em contrapartida, a penúria que o CNPq e a Finep vêm atravessando desde 1990 e, em âmbito estadual, a Faperj, penalizou gravemente os grupos que não tiveram acesso aos recursos do PADCT e da Fapesp, o que explica o fato de, nas estatísticas de Cagnin (1993), o item "disponibilidade de equipamento" ter sido considerado como o maior entrave infra-estrutural por pesquisadores do Sul do país.

O maior progresso na área instrumental foi em espectrômetros de ressonância magnética nuclear, espectrômetros infravermelhos e, em menor escala, em espectrômetros de massa, que aliviaram uma demanda reprimida para fins analíticos. As facilidades para difração de raios X continuam essencialmente limitadas a São Carlos, fazendo-se necessária a expansão de instrumental e de pessoal nessa área.

Em resumo, fica claro que o fator infra-estrutura (física e instrumental) apresenta enormes diferenças conforme o local no Brasil. Em alguns centros, as instalações básicas dos laboratórios permitem concluir que é possível, em certas áreas, realizar trabalhos de pesquisa em condições competitivas com centros no exterior sem, no entanto, pretender-se ingenuamente nivelar instalações e capital humano de instituições como a Unicamp ou USP com os grandes centros de excelência de química como o CalTech, Stanford, Berkeley, Harvard, MIT, Toronto, Oxford, Cambridge, Zürich, Göttingen etc. Convém, ainda, destacar que a Fapesp, no estado de São Paulo, conseguiu, nos últimos anos, atender a aproximadamente 70% (das solicitações de auxílio, mas não dos recursos solicitados) da demanda dos pesquisadores da química.

O crescimento vertiginoso da instrumentação utilizada em pesquisa e o acoplamento a sistemas de coleta de dados ou a microcomputadores que gerenciam o instrumento tornaram a aquisição de instrumentos de pesquisa uma decisão estratégica importante para pesquisadores no país, com reflexos indiretos sobre a infra-estrutura. A demora natural que ocorre no processo de consulta ao fabricante, na solicitação de recursos, na aprovação, liberação e, finalmente, importação, muitas vezes resulta na compra de modelos em vias de obsolescência. O custo dos equipamentos freqüentemente é superior ao que é pago em países "consumidores" de instrumentos. O pesquisador brasileiro tem pouco poder de barganha para adquirir o instrumento, porque o Brasil representa um mercado pequeno nessa área. Em resumo, o Brasil está pagando um preço relativamente alto pela instrumentação científica. Por sua vez, os *softwares* que comandam os instrumentos não são necessariamente de modificação trivial, além de esbarrarem em problemas delicados que infringem direitos de propriedade intelectual.

A físico-química experimental de grande porte e, indiretamente, o desenvolvimento da metodologia analítica são áreas que têm enfrentado algumas dificuldades para se expandir. A ênfase excessiva dos editais do PADCT em instrumentação de uso comum, endossada por uma boa parte da comunidade da química, ignora completamente a problemática de grupos preocupados com experiências que implicam o desenvolvimento de protótipos e a construção de equipamentos que, embora acoplados a unidades comerciais, devem trabalhar de maneira dedicada nas experiências. Em muitas situações, o instrumental necessário se aproxima mais daquele utilizado na física ou até em algumas das engenharias. O investimento exigido para experiências desse tipo é elevado, já que tanto a dinâmica química quanto a espectroscopia requerem em geral *lasers* ultra-rápidos, detectores especiais, mecânica de precisão e eletrônica digital sofisticada, e configuram áreas em que o país definitivamente não tem condições de produzir, no momento, trabalhos de pesquisa competitivo internacionalmente.

Outro problema sério é a manutenção dos instrumentos. O subprograma de manutenção do PADCT foi inócuo neste sentido, e até ingênuo na sua concepção. Não só é difícil encontrar pessoal qualificado nos institutos ou departamentos de química capaz de se responsabilizar por reparos dos mais simples, como, por outra parte, a arquitetura dos instrumentos comerciais requer, atualmente, a manutenção por uma firma qualificada ou pelo representante local do fabricante. Contratos de manutenção ainda são raros, devido ao seu custo elevado e à falta de tradição na orçamentação para este fim. Além disso, vários fabricantes de instrumentos do exterior adotam uma atitude que está longe de ser profissional com relação aos instrumentos em operação no Brasil.

A ausência de serviços de manutenção confiáveis, tanto no nível institucional quanto no empresarial, e de orçamentação ou previsão orçamentária apropriada é agravada pela ausência de serviços qualificados mais modestos, mas, ainda assim, necessários, em laboratórios de pesquisa. Oficinas de vidraria, mecânica e eletrônica são fundamentais para qualquer trabalho em química. Além de terem dificuldade em encontrar pessoal qualificado nessas áreas, as universidades ou centros de pesquisa quase nunca dispõem de uma estrutura salarial ou profissional que permita manter técnicos de nível elevado. A infra-estrutura de oficinas mecânicas e eletrônicas existentes na química é, em geral, muito ruim.

O isolamento científico dos pesquisadores brasileiros da área de química, assim como de outras áreas, torna o acesso a bibliotecas um fator da maior importância. Poucos são os grupos de pesquisa que podem se vangloriar de estar na "crista da onda" e fazer parte do círculo privilegiado onde as informações fluem rapidamente entre os laboratórios. A situação das bibliotecas de química melhorou bastante com o Pronaq e, a seguir, com o PADCT. A biblioteca do Instituto de Química da USP foi designada como centro de referência na área de química, apesar de algumas lacunas e da dificuldade em acompanhar a publicação de novos periódicos.

Grande parte das instituições de pesquisa conta ainda com recursos bibliográficos extremamente precários, como é o caso do Norte e Nordeste do Brasil, e depende de acesso fácil aos centros de referência. Atualmente, a situação no estado de São Paulo pode ser considerada satisfatória, já que tanto a USP (nos seus diversos departamentos, institutos e *campi*), quanto a Unicamp e a Unesp dispõem de bons recursos nessa área. A Universidade de Brasília também tem recebido um volume satisfatório de recursos, além de contar com a infra-estrutura de bibliotecas da Embrapa.

O problema básico das bibliotecas continua sendo a incerteza anual quanto ao volume de recursos orçamentários a elas destinados. A rapidez com que novos conhecimentos são gerados e a evolução e os avanços nos sistemas de informação resultam, a curto prazo, na necessidade de novos investimentos na área de bibliotecas.

Um outro fator freqüentemente apontado como empecilho para o trabalho de pesquisa em química nas universidades é a elevada carga horária do seu corpo docente, que, na maioria das universidades brasileiras, tem obrigações didáticas muito superiores às de outros departamentos e também às de suas congêneres nos países avançados. O grande número de horas formais dedicadas ao trabalho experimental é, em parte, responsável por esta situação, sem que isso se tenha traduzido necessariamente na formação de químicos de bancada com grandes aptidões.

5. Avaliação crítica do estado-da-arte da química no Brasil

Uma série de indicadores quantitativos aponta para um progresso qualitativo e quantitativo indiscutível na área de química no Brasil. Esta tendência é particularmente visível nos dados coletados junto aos programas de pós-graduação, no número de participantes em eventos científicos e técnicos realizados no país e, ainda, quando confrontados com as informações que constam no volume da série *Avaliação e Perspectivas*, referente à área de química (Mors, 1982).

A tabela 1 expresssa a tendência presente nos relatórios consolidados da Capes para a química, relacionando, para fins de comparação, as seguintes variáveis: número de cursos de pós-graduação credenciados pela Capes, número de docentes com titulação de doutor ou equivalente (antigo livre docente) formados por esses programas, alunos de mestrado e de doutorado matriculados na data de encerramento do período avaliado, número de teses de mestrado e doutorado defendidas no mesmo período, número de publicações em revistas nacionais e internacionais, e número de comunicações apresentadas em congressos nacionais e internacionais. Os relatórios se referem a biênios,

exceto no caso da coluna 1987-89, que expressa os dados acumulados em um período de três anos.

Tabela 1
Situação da química no Brasil

Variável	1983/84	1985/86	1987/89	1990/91
Cursos de pós-graduação	24	31	34	35
Alunos de mestrado	599	813	1.115	1.204
Alunos de doutorado	276	336	545	795
Teses de mestrado	226	212	411	476
Teses de doutorado	75	81	109	153
Publicações nacionais	119	152	368	320
Publicações internacionais	358	427	830	710
Comunicações em congressos nacionais	1.282	1.738	3.414	3.168
Comunicações em congressos internacionais	251	248	537	544
Docentes com doutorado	334	395	516	590

Fontes: Pós-graduação em química e farmácia (1991) e dados gentilmente cedidos pelo prof. dr. Massayoshi Yoshida, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, que durante vários anos atuou nas comissões de avaliação da Capes.

Os números da tabela 1 podem ser acrescidos de dados das áreas correlatas. Assim, a engenharia química tem, atualmente, nove cursos de mestrado e quatro de doutorado, e a de farmácia, 10 cursos de mestrado e quatro de doutorado, alguns deles dirigidos mais especificamente às áreas de análises clínicas e toxicológicas. A tabela 1 não distingue entre os dados de mestrado e doutorado em uma mesma instituição. Sob qualquer aspecto, a evolução da área é excepcional para um país como o Brasil, onde os dados do PIB até 1993 apontavam para um crescimento econômico nulo, ou até negativo. Os dados da tabela 1 revelam que, no prazo de nove anos, o número de teses de mestrado e doutorado em química duplicou, com o número de publicações produzidas nos programas de pós-graduação seguindo uma tendência idêntica.

Esse crescimento da produção científica é reforçado pelas participações e apresentações em congressos e pelo aumento no número das comunicações em eventos internacionais. Esse dado é particularmente interessante já que a participação em congressos dessa natureza requer o apoio de agências de financiamento à pesquisa para custeio de passagens, taxas e diárias. Houve, em âmbito nacional, um crescimento expressivo de participantes nas reuniões anuais da Sociedade Brasileira de Química, a partir da fixação de Caxambu como sede

desses encontros, e da Associação Brasileira de Química. Embora a qualidade das apresentações ainda seja bastante heterogênea, essas reuniões têm conseguido atrair conferencistas convidados de renome internacional, dando oportunidade aos pesquisadores brasileiros de tomar contato com lideranças científicas importantes. Outras reuniões, de caráter mais especializado, também vêm se transformando em foros importantes de divulgação de idéias e resultados: é o caso das Conferências de Físico-Química Orgânica, dos Simpósios de Eletroquímica e Eletroanalítica (Sibee), dos Simpósios de Química Teórica e dos Encontros de Síntese Orgânica, Química Inorgânica e Química Analítica, e das Regionais da SBQ. Dentre as reuniões de caráter mais tecnológico, destacam-se aquelas organizadas pela Associação Brasileira de Tintas, que congrega grande número de participantes e que começa a atrair pesquisadores do setor acadêmico como convidados.

Esse nível de atividade tem resultado em uma auto-avaliação bastante favorável pela própria comunidade de química. Sete entre os cursos de doutorado de alguma modalidade de química e dois na engenharia química são considerados de excelente qualidade na classificação da Capes (nível A), o que vem gerando a convicção (discutível, na opinião deste autor) de que a concessão de bolsas de doutoramento no exterior só se justifica quando envolve assuntos de interesse excepcional, ou em áreas em que o Brasil ainda não dispõe de competência estabelecida. Essa perspectiva difere bastante da que prevaleceu na física durante muitos anos e que é considerada uma das causas do patamar de qualidade atingido pela área. A classificação dos bolsistas de pesquisa do CNPq também reflete um conceito de excelência: atualmente existem 42 pesquisadores na área de química e seis na de engenharia química na categoria máxima (1 A).

Já os dados levantados mais recentemente por Cagnin (1987) dão uma perspectiva menos otimista da evolução da produção científica na química. A tabela 2 expressa a produção científica da área, a partir do número de publicações de autores brasileiros em periódicos arrolados pelo *Chemical Abstracts* (artigos em revista, atas de congressos e simpósios, relatos técnicos e livros) para o período de 1973 a 1990.

Os dados da tabela 2 incluem um espectro amplo de publicações. Por exemplo, a bioquímica e agroquímica, que são varridas pelo *Chemical Abstracts*, e não fazem parte da tabela 1, respondem por aproximadamente 40% do total anual. Da mesma maneira, existe uma participação significativa de publicações cuja origem está vinculada a instituições ligadas à física. Entretanto, os dados da tabela 2 não

discriminam entre universidades, institutos de pesquisa ou de desenvolvimento e empresas privadas.

Tabela 2
Número de publicações brasileiras indexadas no *Chemical Abstracts*

Ano	Nº de publicações
1973	965
1974	1.057
1975	1.072
1976	1.315
1977	1.379
1978	1.497
1979	1.716
1980	1.650
1981	1.582
1982	1.041
1983	1.534
1984	1.842
1985	1.512
1986	1.492
1987	1.514
1988	1.556
1989	1.532
1990	1.312

Ao contrário do que aconteceu com os programas de pós-graduação, os dados da tabela 2 mostram que houve um crescimento significativo na década de 70, seguido de uma estagnação no volume de conhecimento em química produzido no país a partir de 1980, uma vez que o número de publicações permaneceu constante. Certos detalhes desse levantamento são surpreendentes e requerem uma análise mais detalhada dos dados da tabela 2, como foi feito para o período de 1972 a 1981 (Cagnin, 1987). Por exemplo, a subárea com maior número de trabalhos anuais no período 1982-1990 foi, consistentemente, a química nuclear, uma especialidade justamente tida como pouco desenvolvida no Brasil, e a segunda especialidade foi a espectroscopia, ambas bem à frente da química orgânica. Entretanto, as duas reúnem um grande número de trabalhos da área de física, tornando difícil a interpretação desses dados sem antes proceder a uma distinção entre eles.

Alguns dados adicionais servem para situar melhor as informações das tabelas 1 e 2. Estima-se que nos Estados Unidos a quantidade de doutores (PhD) em química formados a cada ano seja algo em torno de 1.500, enquanto no Brasil esse número só ultrapassou 100 em 1993. Na Inglaterra, por sua vez, são produzidos cerca de 4.800 artigos em química orgânica por ano, quase 10 vezes mais do que toda a produção científica da pós-graduação em química do Brasil. Existem cerca de 900 doutores em química no país, enquanto nos Estados Unidos, em 1981, esse número já era superior a 45 mil. Esses dados indicam que, apesar do progresso acelerado na pós-graduação e na geração de novos conhecimentos, o Brasil ainda está muito longe dos países mais avançados no que concerne a densidade de cientistas na área de química, embora as projeções estatísticas de crescimento da área situem o Brasil em uma posição de destaque em comparação com outros países latino-americanos. Na área de engenharia química, contudo, a produção científica brasileira ainda é inferior à da Argentina.

As descrições das principais linhas de pesquisa da química e da infra-estrutura para a pesquisa apontaram diferenças regionais importantes no Brasil. A capacitação docente é maior no Sudeste, que também recebeu o maior volume de recursos, viabilizando a implantação de um amplo leque de programas na química. Entretanto, importantes etapas puderam ser vencidas com a fixação de pesquisadores de alta competência em áreas afins, como ocorreu em produtos naturais no Ceará, na química teórica e espectroscopia no Recife, e na físico-química orgânica em Florianópolis. Esse núcleos conseguiram, em prazo curto, criar ilhas de excelência. O programa PICD foi fundamental na capacitação do corpo docente de muitas instituições brasileiras, embora a implantação de linhas de pesquisa em universidades em uma fase de recursos escassos venha sendo uma tarefa árdua nesses últimos anos.

Qual o nível dos pesquisadores formados no Brasil e atuantes no cenário científico? A química do Brasil e, em conseqüência, seus pesquisadores sofrem de um isolamento científico natural em função de sua situação geográfica, o que torna imprescindíveis os programas de intercâmbio e estágios em centros no exterior. O desempenho dos estagiários no exterior, especialmente no nível de pós-doutoramento, tem sido razoável, e tem contribuído para a abertura de novas linhas de pesquisa. Embora sem uma idéia exata da porcentagem de cientistas ativos em química formados no exterior comparada com a daqueles formados no Brasil, uma avaliação da própria comunidade nacional é ilustrativa. Segundo Meneghini (1991), dos 30 cientistas químicos classificados entre os de melhor desempenho, apenas três se doutoraram no exterior (outros três são estrangeiros que imigraram para o Brasil já com o doutorado). Em compensação, apenas um entre os 26 brasileiros citados na lista não fez pós-doutoramento no exterior. É interessante notar que foi justamente este perfil (preferência pela formação no

país) que levou a química a ser considerada um pouco "provinciana" quando comparada com a física e a matemática.

Até recentemente, o país absorvia com certa facilidade o contingente de pós-graduados em química. A expansão e o aprimoramento do corpo docente das universidades criaram oportunidades para fixar esses pesquisadores, ao contrário do que ocorreu na Argentina, onde houve considerável evasão de talentos para os países considerados de ponta na área científica. Entretanto, a tendência de fixar pesquisadores da química no Brasil pode vir a se alterar no curto prazo, na medida em que um número crescente de cientistas é treinado no exterior e, no retorno, tende a encontrar dificuldades para iniciar uma linha de pesquisa, devido a problemas de infra-estrutura e de falta de oportunidades no setor acadêmico ou industrial, ou simplesmente por falta de apoio à pesquisa.

Um segundo indicador, também de difícil quantificação, diz respeito à originalidade das linhas de pesquisa em química. A transmissão rápida de conhecimento no mundo faz com que poucas idéias sejam consideradas de domínio privado de um grupo de pesquisas. A maioria dos trabalhos e linhas de pesquisa desenvolvidos no Brasil se enquadra, em maior ou menor escala, dentro de tendências mundiais e, mesmo, quase a reboque delas. Por esse prisma, praticamente não existem linhas de pesquisa que tenham surgido no Brasil e aberto perspectivas importantes no campo da química. A química de produtos naturais exibe uma certa originalidade, que decorre do fato de o material utilizado ser local. Entretanto, a expansão de um trabalho puramente sistemático acabou por prejudicar a criatividade e as possibilidades de inovação nessa área. Outro exemplo interessante são os trabalhos pioneiros realizados na década de 50 em São Paulo sobre compostos orgânicos de telúrio, considerados uma curiosidade na época. Depois de 20 anos, este tópico se tranformou em uma área muito ativa e de grande aplicação, como no caso de reagentes em sínteses orgânicas. A baixa densidade de pesquisadores existentes no Brasil na época e a precariedade dos recursos instrumentais nos anos 70 prejudicaram a retomada desse campo, embora exista um apreciável *know-how* local no assunto. Mais recentemente, dois tópicos bastante originais com grande aceitação foram os fenômenos associados com osmossedimentação induzida por gravidade e o modelo desenvolvido para explicar a troca de íons na interface de soluções micelares.

Entre os critérios mais gerais para verificar a qualidade da produção científica da química no Brasil estão a freqüência de publicações em periódicos de grande impacto e com índice de citações. De maneira geral, a contribuição brasileira nas revistas de química mais importantes e de caráter geral, como o *Journal of the American Chemical Society* e o *Angewandte Chemie*, é inexpressiva, ou até nula, em alguns anos. Esta estatística não pode ignorar, entretanto, que o rigor editorial em revistas dessa natureza, para trabalhos procedentes de instituições ou de autores externos aos grupos mais conhecidos, freqüentemente beira o prejulgamento e o preconceito. Por outra lado, a baixa produtividade nessas revistas pode refletir a preferência de autores brasileiros por periódicos mais especializados, embora altamente conceituados. Dessa forma, contribuições de autores brasileiros começam a se tornar rotineiras em revistas como *Journal of Physical Chemistry*, *Journal of Organic Chemistry*, *Inorganic Chemistry*, *Journal of Chemical Physics*, *Chemical Physics Letters*, *Tetrahedron Letters*, *Langmuir* etc., apesar de o número ainda ser reduzido em função da dimensão da comunidade científica do país. Dados para o período 1983-85 confirmam claramente a tendência para a divulgação da produção científica em química predominantemente através de periódicos internacionais e de revistas de impacto razoável (Spagnolo, 1990).

Dados da Capes sobre a participação brasileira em congressos internacionais de química revelam que são raros os casos de convites a pesquisadores brasileiros para atuarem como conferencistas plenários nos grandes encontros internacionais. Também são raros os casos de pesquisadores brasileiros convidados como professores visitantes ou para apresentarem trabalhos em seminários promovidos por instituições de renome, provavelmente em função de fatores como o isolamento científico, que torna o trabalho do pesquisador brasileiro menos conhecido, e, às vezes, até dificuldades com línguas estrangeiras.

Em suma, é possível constatar um aumento da produção científica de qualidade no país e dos projetos submetidos à análise das agência de fomento. Houve, portanto, um aumento na demanda de qualidade, embora muitas das propostas ainda tenham um caráter pouco inovador para um país jovem como o Brasil, do qual se esperaria maior independência científica.

6. Interação da pesquisa em química no Brasil com o setor produtivo

Indicadores importantes de progresso de um país são a capacidade de desenvolvimento tecnológico e o uso da tecnologia para a melhoria das condições de vida de sua população, o que é obtido através quer do aproveitamento dos conhecimentos gerados no país, quer da adaptação de conhecimentos obtidos em outros países e que são de livre divulgação. Na química, são grandes as expectativas de que, no Brasil, a ciência básica e a pesquisa realizada nas universidades possam reverter em avanços significativos para o desenvolvimento tecnológico do país e para o setor produtivo, em particular. Isto, contudo, ainda está longe de ser uma realidade, em função de uma série de fatores cuja identificação é necessária para equacionar corretamente a atuação da química no país.

Em linhas gerais, as universidades têm desempenhado um papel importante em suprir o setor produtivo com recursos humanos, no nível de graduação, na química, engenharia química e farmácia. A formação básica dada pelas universidades, complementada pelo treinamento específico nas empresas, deu a tônica do modelo industrial brasileiro dos anos 60 e 70 e constituiu um dos alicerces do parque industrial brasileiro. A implantação da pós-graduação nas universidades visava a um horizonte mais ambicioso, qual seja, a capacitação de recursos humanos em um nível superior através da realização de projetos de pesquisa ori-

ginais. A pós-graduação promoveu o avanço da química no Brasil em duas vertentes:

• treinamento de cientistas com base em uma disciplina rigorosa, em que a criatividade, o poder de inovação e o espírito crítico são estimulados e aliados a um treinamento em teorias e técnicas modernas;

• avanço de conhecimentos básicos ou aplicados em determinadas áreas.

As linhas de pesquisa introduzidas nas universidades gravitam, em sua grande maioria, em torno de temas considerados relevantes na ciência que não reconhece fronteiras entre países. Entretanto, também a ciência dita de vanguarda sofre um forte impacto das diretrizes científicas definidas nos países mais avançados, uma vez que os recursos para pesquisa são alocados de acordo com linhas temáticas preferenciais. No Brasil, essa definição tem sido bastante tênue, mesmo na área de produtos naturais, que trabalha com matéria-prima do próprio país, e onde as diretrizes não estão imunes à demanda e ao interesse criado pela ciência internacional.

O próprio modelo da pós-graduação — orientado para a formação de recursos humanos — faz com que a pesquisa realizada na universidade tenha características nitidamente horizontais. Não existem grupos ou instituições de pesquisa no Brasil com infra-estrutura para produzir pesquisas de integração vertical. O ambiente de liberdade acadêmica que vigora nas instituições universitárias cria dúvidas sobre se uma estrutura desse tipo seria possível ou, até mesmo, desejável nas universidades brasileiras. Assim, os resultados da pesquisa nas universidades acaba sendo, atualmente, um subproduto da formação de pessoal qualificado, configurando um padrão bem distinto do dos institutos de pesquisa ou de desenvolvimento, onde os objetivos e a hierarquia estão bem estabelecidos, e onde é possível uma verticalização razoável da pesquisa. Um exemplo deste tipo de estrutura são os institutos ligados à Academia de Ciências da antiga União Soviética e dos países do Leste europeu, que congregam um grande número de pesquisadores em torno de um determinado assunto visando a um objetivo comum.

Por sua vez, empresas dos setores químico e farmacêutico no Brasil adotaram um modelo inicial de importação de tecnologia, essencial para a implantação rápida de uma indústria de base. Ainda assim, quase nenhuma delas ostenta poder de inovação pois não possui uma estrutura dirigida para o desenvolvimento de produtos e processos a longo prazo. As próprias multinacionais dependem, para isso, de iniciativas da matriz. Obviamente, as incertezas econômicas por que o país tem passado desestimulam um planejamento desse tipo, e as empresas supranacionais terminam por favorecer uma concentração das ações de desenvolvimento nos países avançados, onde é possível fazer um planejamento de longo prazo. As empresas nacionais, por sua vez, trabalham com um horizonte de curtíssimo prazo e com a filosofia de manter um mínimo de investimento na área de

pesquisa e desenvolvimento. Existem algumas raras exceções que, no entanto, são uma minoria, normalmente lideradas por empresários esclarecidos, que valorizam as atividades de P&D. Contudo, os problemas na área da química vêm se agravando e estão a exigir algum tipo de atividade sinérgica.

Nos últimos anos, aumentou bastante a expectativa de que os laboratórios de pesquisa das universidades venham a atuar em determinadas instâncias como centros de P&D para as empresas, em problemas específicos. Entretanto, essa perspectiva nem sempre tem sido bem aceita e, talvez por isso, sua operacionalização tem sido muito lenta, o que leva ao questionamento da viabilidade dessa iniciativa. Do lado das universidades, a demanda que parte das empresas freqüentemente envolve desde a simples adaptação de processos conhecidos — que, obviamente, não motiva os pesquisadores mais criativos — até especialidades nem sempre desenvolvidas no âmbito das universidades. O redirecionamento para resolver problemas a curto prazo tem sido questionado nas universidades, que não vislumbram um retorno científico significativo nesse intercâmbio. A estrutura hierárquica, ou a sua ausência, nas universidades, aliada ao sistema de promoção em vigor, também não favorece uma atuação desse tipo. A engenharia química e, em menor escala, a química farmacêutica têm interagido de forma mais ativa com o setor produtivo, através de um regime de contratação de serviços ou da pesquisa "sob encomenda".

A evolução da química no setor industrial revela que as grandes companhias multinacionais investem maciçamente em seus programas de desenvolvimento e no recrutamento de talentos na área de P&D. O objetivo das universidades, por sua vez, é preparar cientistas bem-treinados para atuar tanto no setor privado quanto no governamental. Uma visão clara da maneira como funciona a pesquisa aplicada, ou a pesquisa diretamente relacionada com o desenvolvimento de produtos em empresas, e sua interação com o mercado, com a pesquisa básica, com o meio ambiente e com a legislação está muito bem ilustrada em uma publicação sobre a trajetória da Basf (Quadbeck-Seeger, 1990) e serve para orientar a relação entre pesquisa básica e pesquisa aplicada.

A absorção, pela indústria química brasileira, dos recursos humanos provenientes da pós-graduação ainda é muito tímida, e os planos para atividades de P&D nas indústrias têm sido seriamente prejudicados pela conjuntura recessiva que prevaleceu nos últimos anos. Uma alternativa que parece mais eficiente é o repasse de tecnologia através de uma empresa suficientemente sofisticada para atuar como interface da indústria com o meio acadêmico, na linha da Codetec, por exemplo, que configura uma maneira interessante de combinar conhecimento científico com formação de equipe multidisciplinar e uma administração de tipo empresarial para repasse de tecnologia ao setor industrial no âmbito local.

A médio prazo, a expansão de recursos humanos originários da pós-graduação poderá resultar na formação de pequenas empresas de alta tecnologia, capazes de fazer a ponte entre universidade e indústria. Entendemos que este é o

caminho correto caso haja disponibilidade de financiamentos e capital de risco para que pequenas empresas desse tipo possam surgir no cenário brasileiro.

Por outro lado, não parece provável que, nas condições atuais, qualquer avanço significativo da pesquisa universitária na química encontre parceria no setor industrial. No setor farmacêutico, por exemplo, não existe tradição no desenvolvimento e triagem de novos medicamentos, o mesmo ocorrendo na área de especialidades químicas, uma vez que a demanda na química fina está atrelada a produtos que não trazem um grau elevado de inovação.

Por ora, a interação universidade-setor produtivo na química está restrita a pequenos serviços de consultoria em áreas onde existem interesse mútuo e competência para esse fim. O treinamento de pessoal do setor produtivo em técnicas modernas também é uma contribuição positiva nesse sentido.

Em resumo, as universidades têm contribuído para o aumento da oferta de pessoal qualificado para uma química mais avançada no país e têm concorrido para a abertura de novos conhecimentos. A demanda do setor produtivo tem recaído predominantemente sobre aspectos muito específicos e de maturação a curtíssimo prazo que só podem ser resolvidos em estruturas montadas nas próprias empresas ou em instituições especializadas. A transformação das universidades em empresas de consultoria seria um grave erro para o futuro do Brasil. Entretanto, as dúvidas sobre a capacidade nacional de transformar conhecimentos originais em tecnologia de ponta é um assunto que ainda está em consideração e que merece atenção nas ações a serem desenvolvidas e nas metas definidas para o setor.

7. Planos de ação para a química

As propostas orçamentárias para 1993 apresentadas pelos setores responsáveis pela química, engenharia química e química farmacêutica (programa de farmácia) do CNPq contêm uma exposição de motivos e um retrato muito preciso da situação atual destas áreas. A ênfase principal desses programas continua recaindo na necessidade de incrementar a formação de recursos humanos para atingir metas a curto prazo. Por exemplo, o documento do CNPq explica que, apenas para atender à área acadêmica, seria necessário triplicar o número de doutores em química no país. Embora isso seja questionável, não há dúvidas de que o programa de bolsas em todos os setores da química tem proporcionado uma base sólida para o crescimento da área.

A programação de bolsas das diversas modalidades (pesquisa, pós-doutorado, apoio técnico e pesquisadores visitantes) para os próximos anos prevê um crescimento entre 10 e 15% ao ano, com destaque para bolsas de doutorado no país. É preciso estar atento para o fato de que o mero aumento do número de bolsas, sem a devida contrapartida para material e instrumental, levaria a uma inevitável queda de nível. Esses números devem ser considerados com mais atenção.

O custo do treinamento de alunos de doutorado no exterior é extremamente alto, da maneira como este programa está sendo conduzido. Apesar das diferenças importantes de país para país, é sabido que nos Estados Unidos existe uma grande variedade de mecanismos que são usados para sustentar os alunos de pós-graduação, mesmo estrangeiros. A prova disso é o grande número de estudantes de origem asiática — inclusive chineses — que fazem pós-graduação nos Estados Unidos custeados por verbas de pesquisa de instituições americanas. Em outras palavras, o incentivo para a pós-graduação no exterior deve consistir de passagem, treinamento eventual em língua estrangeira e de algum tipo de apoio, sem envolver o pagamento das taxas escolares que fazem parte integral do "pacote" oferecido para alunos de pós-graduação que se candidatam a bolsas concedidas diretamente pela instituição. As vantagens do treinamento em grandes centros ainda são enormes, porque o aluno é exposto às correntes científicas mais importantes da atualidade e convive com cientistas destacados. O gerenciamento adequado de um programa desse tipo pode facilmente levar 50 alunos de doutorado para o exterior a um custo muito mais baixo do que aquele arcado atualmente pela Capes e pelo CNPq. Este raciocínio não se aplica ao caso das bolsas de pós-doutorado, onde as oportunidades são muito mais reduzidas e o país deve investir no seu próprio pessoal. Nesse nível, contudo, conviria estabelecer garantias para que esse treinamento esteja vinculado ao programa de alguma instituição.

O fomento na área de bolsas de pesquisa e bolsas de apoio técnico se tornou essencial para contornar os efeitos perversos da situação salarial nas universidades e institutos de pesquisa. Contudo, é essencial vincular essas bolsas a projetos de pesquisa que já contem com algum tipo de financiamento.

Finalmente, vale a pena analisar a situação do Leste europeu e, especificamente, da Rússia. Esses países dispõem de uma grande competência científica instalada que, atualmente, está em falência total. A absorção de cientistas desses países através de um programa agressivo de recrutamento representaria uma alavancagem importante na capacitação nacional. Algumas especialidades com grande demanda no Brasil, como catálise e química do estado sólido, estão altamente desenvolvidas nesses países e por cientistas acostumados a trabalhar em condições de infra-estrutura que também não são ideais.

Entretanto, a maior preocupação atual reside na indefinição de uma política de investimento em ciência e tecnologia. A concessão de bolsas e a expansão da pós-graduação poderão até ser contraproducentes na ausência de uma estratégia bem-definida de financiamento à pesquisa.

Antes de mais nada, é necessário proceder a uma definição geral de metas. Apesar do baixo número de pesquisadores na química no Brasil, é preciso estabelecer algumas prioridades que permitam de fato orientar os trabalhos da área. Essas metas devem ser definidas não apenas por cientistas, mas por um grupo de trabalho que inclua representantes do setor produtivo, significando que o desenvolvimento científico e tecnológico do país não pode ser de responsabilidade

apenas de órgãos governamentais, uma vez que o setor privado está entre seus maiores beneficiários. Algumas metas foram estabelecidas através dos programas de RHAE, que cobrem apenas bolsas de aperfeiçoamento e não prevêem recursos para a realização de pesquisas. A programação para química fina e a sua baixa demanda sugerem o reduzido interesse por parte das empresas em assumir encargos de financiamento, ainda que a juros reduzidos. A definição de metas não deve, contudo, comprometer o apoio à ciência de boa qualidade, ainda que não diretamente vinculada a estas metas.

O sistema de auxílios previsto deve incorporar algumas das modalidades pretendidas originalmente através dos auxílios integrados. Atualmente, esses auxílios constituem um mecanismo mais interessante do que os laboratórios associados. A idéia seria conceder três sistemas de auxílio, na linha do que se pretendeu atingir no PADCT, como explicado a seguir:

• Auxílios integrados por um período de três anos para os grupos já estabelecidos, que praticamente funcionariam como laboratórios associados. Essa modalidade inclui uma avaliação rigorosa desses laboratórios quando da renovação dos auxílios, como forma de aferir o seu desempenho. Os recursos necessários à manutenção de laboratórios desse porte devem partir de um piso mínimo de US$50 mil, e deveriam incluir a aquisição de instrumental, sua *manutenção* e os insumos necessários para o desenvolvimento dos projetos. O critério para a escolha dos grupos beneficiados se basearia no seu nível de excelência, medido através de publicações em revistas conceituadas, e no seu reconhecimento internacional.

• Auxílios para novos pesquisadores que apresentem propostas com elevado grau de *originalidade* e que visem a implantação de novas linhas de pesquisa. Essa modalidade não deverá atender a solicitações que visam simplesmente a duplicação de linhas de pesquisa já existentes em centros consolidados, e deve ser objeto de uma avaliação rigorosa caso os projetos não se enquadrem em uma linha inovadora. O valor dos auxílios nessa categoria poderia se situar em US$30 mil, embora o seu dimensionamento seja uma tarefa difícil, uma vez que a implantação de uma linha de pesquisa nova pode, freqüentemente, exigir um aporte inicial de capital maior.

• Auxílios para atender a pesquisadores situados em uma faixa entre os dois casos acima e que apresentem propostas de alto valor científico.

Entretanto, vale a ressalva de que qualquer iniciativa para normalizar os recursos destinados à pesquisa se frustrará caso não se resolva de maneira definitiva o problema das importações, embora a liberação das restrições gerais às importações já tenha contribuído para melhorar bastante a situação.

O apoio para infra-estrutura e para a melhoria das condições dos diversos laboratórios deveria contar com a participação dos estados envolvidos. A infra-

estrutura deveria ser apoiada por uma parceria entre fundações estaduais de fomento à pesquisa e empresas privadas, mesmo no caso de universidades federais, que poderão se beneficiar de atividades desenvolvidas nesses centros de pesquisa.

Outra atividade da maior importância é o apoio aos pesquisadores para participarem em eventos científicos no exterior, de preferência acoplados a pequenos estágios (duas semanas), cerca de uma vez por ano. O problema do isolamento científico analisado acima pode ser superado através de uma interação contínua e de um maior grau de exposição dos trabalhos realizados no país.

A recuperação e atualização de institutos de pesquisa científica e tecnológica como o IPT, o INT, o Ceped, o Cetec, o ITA, e o Inpa devem ser consideradas prioritárias para a dimensão mais aplicada da química. Cabe a esses institutos ocupar um espaço para o qual as universidades não têm vocação ou estrutura e que representa um forte apoio para o setor produtivo. A instalação de empresas de tecnologia de ponta deve ser estimulada através de incentivos para investimento de capital de risco.

Finalmente, uma coordenação nacional para a área de química seria um mecanismo eficaz para acompanhar e gerenciar o desenvolvimento de programas dessa natureza, nos moldes dos que existem na NSF, nos Estados Unidos, no CNRS, na França, e no Conselho de Pesquisas da Itália. O prazo de gestão dessa coordenação deveria ser de três anos, e ela deveria contar com o respaldo de comitês assessores para as decisões técnicas, subsidiando os comitês com informações levantadas *in loco* sempre que necessário.

A situação da química no Brasil tem-se alterado de maneira tão rápida nos últimos anos que recomendações muito específicas correm o risco de se tornar desatualizadas caso não sejam implantadas em prazo relativamente curto. Entretanto, o enorme esforço que o país tem feito no sentido de criar uma capacitação científica respeitável, aliado a sinais de que essa capacitação já atingiu um nível que permite prever um futuro otimista, constitui a maior evidência de que o investimento a ser feito em ciência e tecnologia redundará em benefício para toda a população.

Referências bibliográficas

Cagnin, M. A. H. Avaliação da pesquisa e da pós-graduação em química no Brasil: comunidade científica, sistema de pares e indicadores científicos. *Química Nova*, *16*:161-71, 1993.

———. O desenvolvimento regional e a participação do pesquisador químico no progresso da química brasileira. *Química Nova*, *10*:223-41, 1987.

Meneghini, R. Performance of Brazilian scientists with previous PhD training in Brazil and in developed countries. The case of chemists. *Ciência e Cultura, 43*: 343-6, 1991.

Mors, W. R. *Química*. Brasília, CNPq, 1982. (Avaliação e Perspectivas, Ciências Exatas e da Terra, 8.)

Pós-graduação em química e farmácia: sumário e avaliação da Capes-1991. *Química Nova, 14*:306-11, 1991.

Quadbeck-Seeger, H. J. *Angewandte Chemie, 29*:1.177-88, 1990.

Seidl, P. R. Potencial de pesquisa química nas universidades brasileiras. Cetem/ CNPq, 1991.

Spagnolo, F. Brazilian scientists' publications and mainstream science: some policy implication. *Scientometrics, 18*:205-18, 1990.

Saúde

*Oswaldo Luiz Ramos**

1. Introdução

Estão reunidas na área da saúde várias especialidades médicas e paramédicas. Podemos considerar como paramédicas a enfermagem, a fisioterapia, a nutrição, a fonoaudiologia, a terapia ocupacional e a educação física, e como mais "médicas" as várias subespecialidades médicas e odontológicas.

No concernente ao exercício estritamente profissional, as áreas médicas e odontológicas estão razoavelmente cobertas pelos mecanismos de treinamento existentes, que são de boa eficácia, permitindo que a coletividade de profissionais envolvida se mantenha medianamente atualizada.

Já no que concerne às profissões paramédicas, esta assertiva não é verdadeira, desde que para muitas delas o treinamento ainda é deficiente, por não existirem mecanismos adequados de atualização. Tal fato é particularmente verdadeiro nas áreas envolvendo reabilitação de deficientes e a educação física mais especializada.

2. Graduação

No Brasil, em 1989 havia 1.518.904 alunos matriculados em cursos superiores, sendo que 227.037 concluíram seus estudos (14,9%). Na área de saúde, no mesmo ano, estavam matriculados 174.945 alunos, 11,5% do total, e se graduaram 29.627, ou seja, 16,9% dos que cursaram os cursos da área (tabela 1).

Tabela 1
Indicadores básicos do ensino superior em geral
e na área de saúde no Brasil, 1989

Indicador	Valor
Alunos em escola superior	1.518.900
Graduados em geral	227.037
Graduados na área de saúde	29.627
Graduados em medicina	7.300
Médicos em atividade	210.000
Relação médico/habitante	1,4/mil

* Escola Paulista de Medicina.

A área de saúde reúne os seguintes cursos de graduação: medicina, incluindo saúde coletiva; odontologia; enfermagem; educação física; terapia educacional e fonoaudiologia.

3. Área médica

Em 1992, a área médica compreendia 80 escolas médicas, sendo 46 governamentais — das quais 32 federais (3.485 vagas), 11 estaduais (975 vagas) e três municipais (180 vagas) — e 34 privadas (3.146 vagas), perfazendo um total de 7.786 alunos. O número total de concluintes em 1990 foi de 6.968 (tabela 2).

Tabela 2

Concluintes por dependência administrativa, segundo a unidade da Federação do curso de medicina, 1990

Unidade da Federação	Concluintes				Total
	Federal	Estadual	Municipal	Particular	
Brasil	3.073	963	109	2.823	6.968
Rondônia	–	–	–	–	–
Acre	–	–	–	–	–
Amazonas	15	–	–	–	15
Roraima	–	–	–	–	–
Pará	130	73	–	–	203
Amapá	–	–	–	–	–
Tocantins	–	–	–	–	–
Maranhão	36	–	–	–	36
Piauí	35	–	–	–	35
Ceará	151	–	–	–	151
Rio Grande do Norte	62	–	–	–	62
Paraíba	163	–	–	–	163
Pernambuco	134	156	–	–	290
Alagoas	78	66	–	–	144
Sergipe	23	–	–	–	23
Bahia	94	–	–	170	264
Minas Gerais	641	39	–	295	975
Espírito Santo	82	–	–	106	188
Rio de Janeiro	374	125	–	1.005	1.504
São Paulo	98	428	109	893	1.528
Paraná	148	76	–	122	346
Santa Catarina	94	–	–	–	94
Rio Grande do Sul	446	–	–	232	678
Mato Grosso do Sul	44	–	–	–	44
Mato Grosso	40	–	–	–	40
Goiás	115	–	–	–	115
Distrito Federal	70	–	–	–	70

Fonte: MEC/SESq/SAG/CPS/CIP.

Na década de 60, houve uma explosão de novas escolas médicas, que passaram de 28 para 80 em 1992. Obviamente, poucas destas escolas, não mais do que uma dezena, têm condições mínimas de atender ao que se esperaria de uma escola médica moderna e atualizada. A maioria tem carência de docentes qualificados e de infra-estrutura, sendo sua produção científica praticamente nula.

A produção científica na área médica está restrita fundamentalmente às grandes escolas, localizadas no Sudeste e Sul, e compreende trabalhos não só médicos, como de áreas básicas tradicionalmente ligadas à medicina. Segundo a área médica do CNPq, nos últimos cinco anos foram produzidos 2 mil trabalhos publicados em revistas internacionais indexadas (ISI), 4 mil em revistas brasileiras indexadas (*Index Médicos*) e 10 mil em outras revistas médicas brasileiras não-indexadas.

Graduaram-se em 1992 pouco mais de 7 mil médicos no país e há 210.904 médicos em atividade, sendo 41% mulheres, perfazendo a relação de 1,4 médico por mil habitantes.

A análise qualitativa do produto final das escolas médicas ainda é praticamente inexistente, havendo, desde há alguns anos, um exame teórico de suficiência, em caráter facultativo, efetuado pela Associação Médica Estadual no Rio Grande do Sul para graduados naquela região. Mais recentemente, está sendo lentamente implementado no estado de São Paulo um exame com as mesmas características. Até o momento não há qualquer limitação ao exercício da medicina para médicos que não se submeteram ou não foram aprovados neste exame, havendo, entretanto, uma crescente valorização do certificado de aprovação no mercado de trabalho. O assunto tem sido motivo de amplas e algumas vezes acaloradas discussões nas associações médicas e na Associação Brasileira de Escolas Médicas.

Os problemas de ensino médico têm sido discutidos desde há muitos anos em uma instituição denominada Comissão de Ensino Médico, ligada ao MEC. Esta comissão tem sido responsável por muitas medidas disciplinadoras, no sentido de normatizar e melhorar o nível das escolas médicas. A mais importante conquista foi, sem dúvida, coibir parcialmente a descontrolada explosão de novas escolas médicas que assolou o país na década de 60 e que voltou a recrudescer no fim da década de 80. Apesar de tudo, muito ainda tem de ser feito para que o nível médio das escolas médicas brasileiras se eleve, eliminando ou melhorando aquelas que não apresentam condições mínimas de funcionamento.

O treinamento pós-graduado pode ser feito ou de maneira informal, por vias alternativas múltiplas, ou de maneira formal, através da residência médica credenciada pela Comissão de Residência Médica, que oferece 4.795 vagas para o primeiro ano, para atender à demanda média de 7.400 médicos graduados anualmente. Se considerarmos também as residências ainda não credenciadas, porém já autorizadas a receber candidatos, o número de vagas sobe a 5.225, o que repre-

sentaria 70% da demanda teórica. A tabela 3 relaciona o número total de residentes, por área geográfica e por fonte mantenedora.

Tabela 3
Número de médicos residentes, por dependência administrativa e região geográfica (Brasil, 1992)

	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Total
MEC	101	683	1.203	814	225	3.026
MS	12	3	181	–	22	218
Inamps	–	268	1.044	–	73	1.385
Municipal	–	22	480	4	–	506
Particular	11	221	1.280	602	36	2.150
Estadual	6	252	1.070	258	364	1.950
Fundap	–	–	2.199	–	–	2.199
Outros*	–	–	98	–	11	109
Total	130	1.449	7.555	1.678	731	11.543
%	1,0	12,5	65,4	14,5	6,3	

Fonte: Secretaria Executiva da CNRM.
* Fiocruz, Marinha, Aeronáutica, Estado Maior das Forças Armadas (Emfa).

Essas residências seguem, em geral, os preceitos estabelecidos no modelo americano e são normatizadas e fiscalizadas por uma comissão de residência médica ligada ao Ministério da Educação. O período de residência é de dois ou mais anos, e em 1991 existiam 11.543 médicos ligados a este programa. Na tabela 3, nota-se um decisivo predomínio de residentes no Sudeste (65,4% do total), em decorrência das diferenças sócio-econômicas entre regiões existentes no país. A distribuição das vagas ocupadas por residentes cursando o primeiro ano das várias especialidades e subespecialidades está descrita na tabela 4.

A análise qualitativa dessas residências ainda é precária, havendo, certamente, diferenças não-desprezíveis considerando o produto final colocado no mercado.

A regulamentação para obtenção do título de especialista nas diversas áreas ou subáreas médicas é realizada pelas sociedades médicas que congregam os respectivos especialistas.

Tabela 4
Distribuição das vagas de primeiro ano de residência médica pelas especialidades (Brasil, 1991)

Especialidade	Vagas	Especialidade	Vagas
Pediatria	729	*Especialidades médicas*	459
Clínica médica	660	Cardiologia	149
Cirurgia geral	544	Neurologia	70
Tocoginecologia	464	Pneumologia	64
Anestesiologia	214	Nefrologia	51
Oftalmo/Otorrinolaringologia	180	Gastroenterologia	34
Ortopedia	153	Endocrinologia	31
Med. prev./comunitária	126	Hematologia	30
Psiquiatria	110	Reumatologia	22
Radiologia	102	Outras	8
Dermatologia	79	*Especialidades cirúrgicas*	298
Mol. infecciosas	73	Urologia	60
Anat. patol./pat. clínica	71	Neurocirurgia	51
Oncologia/cir. oncol./rad.	37	Cir. plástica	43
Med. física/fisiatria	11	Cir. vasc. periférica	35
Genética	1	Cir. cardiovascular	28
		Cir. pediátrica	26
		Cir. torácica	15
		Outras	40

Fonte: MEC/SENESu/DHERm, *Relatório geral da residência médica*, jan. 1991.

Para os médicos que pretendem ser docentes, há uma tendência crescente em se matricular na pós-graduação *stricto sensu*, após a residência.

4. Área odontológica

A área odontológica compreende 83 escolas, das quais aproximadamente 50% são mantidas pelos governos federal e estadual e a outra metade pela iniciativa privada. Existem em atividade 115.692 dentistas, e 7 mil são graduados anualmente, havendo recentemente nítida prevalência de mulheres (mais ou

menos 70%), exercendo 14 especialidades. O treinamento pós-graduado é feito por cursos de especialização de duração variável, que atualmente somam 210 em todo o Brasil. Não há organismo semelhante à residência existente para médicos. Este número de dentistas é aparentemente excessivo, quando comparado a países do Primeiro Mundo, onde escolas de odontologia estão sendo desativadas. Esta discrepância é decorrente de condições sócio-econômicas que facilitam a prevenção de cáries nos países desenvolvidos e, assim, no Brasil o índice de dentes atacados por cárie aos 12 anos de idade é, em média, de 6,7, cifra que é o dobro daquela indicada como correta pela Organização Mundial de Saúde. Nos países desenvolvidos os principais problemas odontológicos estão na área das disfunções miofaciais, de implantes de dentes e de gerodontologia.

Há grandes diferenças de qualidade entre as faculdades de odontologia, existindo pelo menos 19 das 83 que têm boas condições materiais e de docência e que são centros de pesquisa em odontologia (ver quadro).

Principais centros de pesquisa de odontologia no país

Faculdade de Odontologia de Araçatuba — Unesp
Faculdade de Odontologia de Araraquara — Unesp
Faculdade de Odontologia de Bauru — USP
Faculdade de Odontologia da USP-São Paulo
Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto — USP
Faculdade de Odontologia de São José dos Campos — Unesp
Faculdade de Odontologia de Piracicaba — Unicamp
Faculdade de Odontologia da UFRJ
Faculdade de Odontologia da UERJ
Faculdade de Odontologia da UFMG
Faculdade de Odontologia da UFG
Faculdade de Odontologia da UFRN
Faculdade de Odontologia da Fesp
Faculdade de Odontologia da UFPe
Faculdade de Odontologia da UEL
Faculdade de Odontologia da UFSC
Faculdade de Odontologia da UFRGS
Faculdade de Odontologia da PUC-RS
Faculdade de Odontologia da UFPEL

Fontes: Capes e CNPq.

Também no caso da odontologia, a pesquisa é fundamentalmente realizada através dos cursos de pós-graduação *stricto sensu*, através do mestrado e doutorado.

Há, além dos pós-graduandos, 80 pesquisadores qualificados selecionados pelo CNPq.

5. Área de enfermagem

O primeiro curso de enfermagem foi criado na década de 20 no Rio de Janeiro, por influência do sistema americano, e apenas em 1949 surgiu lei regulamentando o ensino de enfermagem no país. Na década de 60, o número de auxiliares de enfermagem ultrapassou o de enfermeiras, e foi criada a categoria de técnico de enfermagem, não tendo surgido dispositivo legal que discriminasse claramente as atividades que seriam do âmbito de cada uma dessas três categorias.

Apesar disto, houve crescimento dos cursos de enfermagem e em 1974 existiam 40 instituições oferecendo 2 mil vagas anuais para enfermeiras. O número de cursos foi progressivamente crescendo e atualmente existem 110 escolas de enfermagem no país, graduando em 1989, 3.779 alunos. Como pode ser visto na tabela 5, estas cifras têm decrescido desde 1985. O número total das enfermeiras em atividade é de 57.047, extremamente exíguo quando se compara com o número de médicos, tendo em vista que nos países desenvolvidos o contingente de profissionais de enfermagem é cerca de cinco vezes superior ao de médicos, enquanto no Brasil a relação é de 1/4. Esta distorção é principalmente explicada pelo fato de que no Brasil a enfermeira exerce, fundamentalmente, funções administrativas, controlando o pessoal das outras categorias envolvidas na área, assim como gerenciando a circulação de mercadorias e medicamentos. As funções mais intimamente conectadas com a assistência ao doente são exercidas pelas outras categorias e, assim, no Brasil, além das 57.047 enfermeiras, existem 42.930 técnicos de enfermagem, 163.350 auxiliares de enfermagem e aproximadamente 300 mil atendentes de enfermagem.

Tabela 5
Distribuição de diplomados em enfermagem, segundo as regiões geográficas
1985-89

Ano	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
1985	221	894	2.453	877	158	4.603
1986	144	982	2.144	881	130	4.281
1987	184	818	1.942	830	150	3.924
1988	171	847	1.966	708	87	3.779
1989	171	847	1.966	708	87	3.779

Fonte: MEC.

A discrepância entre o número de médicos e o de enfermeiras também decorre do fato de algumas funções que seriam de enfermagem serem executadas por médicos. Tal arranjo é viável economicamente pelo fato de, ao contrário do observado no Primeiro Mundo, o salário do médico ser relativamente baixo.

No Brasil a situação das escolas de enfermagem de melhor padrão é paradoxal, pois estas exigem muito de seus alunos e por isto são preteridas pelo mercado, que prefere escolas menos qualificadas, que pouco exigem do aluno e fornecem diplomas aparentemente equivalentes. O salário de enfermeira é relativamente baixo e a concorrência às escolas de candidatos mais bem habilitados é pequena. Tal problema é de difícil solução e se estende também para a pós-graduação *stricto sensu*, que tem a justificativa de sua existência para enfermeiras menos clara do que para as áreas da medicina e da odontologia.

Apesar disso, a pesquisa dentro da área cresceu com o advento da pós-graduação *stricto sensu*, embora a qualidade da produção ainda não tenha atingido o nível de outras áreas mais sedimentadas e mais bem estruturadas cientificamente.

6. Educação física

O ensino de educação física iniciou-se no Brasil de maneira informal, no princípio através de imigrantes alemães e depois por influência da missão militar francesa em 1900, criando-se a primeira escola de educação física no país, junto à Força Pública de São Paulo.

Em 1969, o Centro Nacional de Recursos Humanos do Ministério do Planejamento e a Divisão de Educação Física do Ministério da Educação e Cultura, em convênio, elaboraram um documento, editado em 1971, normatizando o ensino da educação física no país.

Os cursos de educação física foram surgindo de maneira crescente no ensino superior, havendo no momento mais de 100 escolas no nível de graduação, muitas ainda em fase de consolidação e de implantação do novo currículo mínimo aprovado pelo CFE.

Foi permitido às universidades oferecer além do curso de licenciatura, o de bacharelado em educação física e em desportos.

Há ainda um número enorme, ao redor de 400, de cursos de pós-graduação *lato sensu* de onde provem a grande maioria dos candidatos aos cursos de pós-graduação *stricto sensu*, que estão sendo criados em algumas das universidades brasileiras.

A pesquisa na área ainda é incipiente e é constituída fundamentalmente pelos trabalhos de tese nesses cursos de pós-graduação nos níveis de mestrado e, mais recentemente, de doutorado.

7. Terapia ocupacional

A necessidade de profissionais da área surgiu inicialmente para atender a carências de serviços de assistência em saúde coletiva, principalmente em setores como os de saúde mental, saúde do idoso e reabilitação materno-infantil. Posteriormente, foi ampliada para outros misteres, atingindo um amplo espectro de ações.

A especialidade surgiu no Brasil em 1959, com a criação do Instituto Nacional de Reabilitação junto ao Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da FMUSP — São Paulo, seguindo os modelos americanos.

A tabela 6 relaciona as fontes mantenedoras e a localização das escolas superiores de terapia ocupacional. A qualificação universitária do corpo docente deixa a desejar, como se vê na tabela 7.

Tabela 6
Distribuição geográfica das escolas de terapia ocupacional, segundo a região geográfica e o tipo de instituição mantenedora do ensino

Região	Federal	Estadual	Particular	Total
Nordeste	1	–	2	3
Sudeste	2	1	6	9
Sul	–	–	3	3
Centro-Oeste	–	–	–	–
Norte	–	–	1	1
Total	3	1	12	16

Fonte: Toyoda et alii., 1986 (atualizada por Ferrigno, 1989).

Tabela 7
Distribuição do número de docentes capacitados ou em programa de capacitação *stricto sensu* e *lato sensu*

Ano	Aperfeiçoamento	Especialização	Residência	Mestrado			Doutorado		
				Concluído	Em curso	Total	Concluído	Em curso	Total
1986	28	24	2	1	11	12	1	1	2
1988	18	44	2	7	30	37	1	2	3

A pesquisa em terapia ocupacional iniciou-se apenas nos anos 80, com a ampliação do corpo docente das escolas de graduação. A formação de pesquisadores docentes da área tem ocorrido através de vinculação a programas de mestrado e, eventualmente, de doutorado de áreas afins, como psicologia, ciências sociais, saúde pública e educação física, já que ainda não há pós-graduação na área específica.

8. Produção científica na área de saúde

A situação da pesquisa científica brasileira na área médica é precária quando avaliada pelos índices internacionalmente reconhecidos, tais como número de cientistas ou número de trabalhos publicados em revistas internacionalmente indexadas por habitante.

Trabalho publicado por Thomas Schott[1] levanta dados mundiais comparando o Brasil com outros países da América Latina, Israel, América do Norte, Europa ocidental e os restantes dos países do mundo. Desta comparação resulta a cifra acachapante de 0,3%, que representa a produção brasileira de artigos científicos de repercussão internacional em relação à produção mundial total. O significado dessa cifra se torna maior quando se considera que o nosso PIB representa 1,7% do mundial e a nossa população, 2,8%. A taxa percentual, considerando apenas os artigos de medicina clínica, diminui para 0,2% e sobe para 0,3% se a área da biomedicina for computada. Cientistas brasileiros representam apenas 4,4% dos autores citados por pesquisadores latino-americanos, 0,7% dos israelenses, 1,0% dos norte-americanos, 1,0% dos da Europa ocidental e 1,2% dos do resto do mundo.

Diante desta realidade, em termos mundiais, passa a ter relevância a análise da produção científica representada pelo sistema brasileiro de pós-graduação.

Embora sempre tenha havido um sistema de treinamento pós-graduado, principalmente na área médica, o sistema formal implantado no início da década de 70 teve imenso impacto, pelo menos quantitativo, na produção científica brasileira.

O projeto de pós-graduação brasileira foi totalmente calcado no sistema americano de mestrado e doutorado, porém, no concernente à pós-graduação na área médica, trouxe uma inovação, qual seja, submeter médicos após um longo curso e um longo treinamento pós-graduado na residência médica a cursos de mestrado e doutorado. Este assunto tem sido motivo de intensas e prolongadas

[1] Schott, Thomas. Performance, specialization and international integration of science in Brazil: changes and comparisons with other Latin American countries and Israel. In: Schwartzman, S. (ed.). *Science and technology in Brazil: a new policy for a global world.* Rio de Janeiro, FGV, 1995. pp. 227-84.

discussões tentando conceituar o mestrado em medicina, assim como conciliar adequado treinamento profissional com as formalidades do mestrado e do doutorado. Apesar de polêmico, segundo levantamento que se realizou entre os cursos de pós-graduação na área médica, a imensa maioria dos consultados concluiu que o sistema atual de pós-graduação formal na área médica é superior ao sistema informal anterior, embora seja reconhecido que algumas modificações poderiam ser benéficas. Infelizmente, não há consenso quanto ao tipo das modificações que devem ser implementadas.

De qualquer maneira, o grosso da produção científica atual na área de saúde é decorrência do sistema formal de pós-graduação. Assim, é fundamental analisar, ainda que superficialmente, os dados atuais da pós-graduação na área (tabela 8).

Tabela 8
Situação da pós-graduação em todas as áreas

Discriminação	1989	1992	Acréscimo 1989-92 (%)
Alunos matriculados no mestrado	36.382	39.667	9,0
Alunos titulados no mestrado	5.040	6.687	13,2
Relação titulados/matriculados no mestrado	13,85%	16,8%	3,0
Alunos matriculados no doutroado	10.122	12.943	12,8
Alunos titulados no doutorado	997	1.482	48,6
Relação titulados/matriculados no doutorado	9,8%	11,4%	1,6
Total de alunos graduados no país	227.037	–	–

Fonte: Relatório Capes.

Nota-se que em três anos houve acréscimo significativo no número de alunos matriculados e titulados, havendo também aumento na relação entre os titulados/matriculados.

Na tabela 9 estão grupados os dados concernentes à pós-graduação na área de saúde e nas quatro subáreas específicas, ou seja, medicina, odontologia, educação física e enfermagem.

A relação titulados sobre matriculados é alta, mostrando eficiência relativa para a área de odontologia (mestrado, 19,7% e doutorado, 29,8%) e para a área médica (14,9% para o mestrado e 15,1% para o doutorado).

Tabela 9
Situação da pós-graduação na área da saúde

Discriminação	Área de saúde 1989	Área de saúde 1991	Subáreas de saúde — 1991			
			Medicina	Odonto-logia	Enfer-magem	Educação física
Programas	225	232				
Total de cursos de mestrado/cursos conceito *A*	211/73	227/91	151/60	56/26	12/4	8/1
Total de cursos de doutorado/cursos conceito *A*	129/50	139/73	101/52	33/18	4/3	1/0
Alunos matriculados no mestrado	4.370	4.676	3.486	662	225	303
Alunos titulados no mestrado	608	750	519	131	72	28
Alunos titulados/matriculados no mestrado (%)	15,1	16,0	14,9	19,7	32,0	9,2
Alunos matriculados no doutorado	1.237	1.790	1.475	228	79	8
Alunos titulados no doutorado	163	298	223	68	7	0
Relação titulados/matriculados no doutorado (%)	13,1	16,9	15,1	29,1	8,8	0

Fonte: Capes.

Essas taxas percentuais, embora altas em termos comparativos com outras áreas, são ainda bastante inadequadas, deixando entrever uma longa duração média dos cursos tanto para o mestrado quanto para o doutorado.

Na tabela 9 também estão especificados os cursos que foram classificados com *A* (classificação decrescente de *A* a *D*) pelo sistema de avaliação da Capes. Assim, na área médica são *A* 40% dos mestrados e 51% dos doutorados; para odontologia, 46% dos mestrados e 54% dos doutorados; para enfermagem, 33% dos mestrados e 75% dos doutorados; e para educação física as taxas são, respectivamente, 12,5% e 0%.

Do ponto de vista quantitativo, cada tese de mestrado e de doutorado corresponde a uma pesquisa científica, porém a avaliação qualitativa é mais problemática, porque não há levantamento confiável do destino dessas teses. Obviamente, o único organismo capaz de decidir sobre a qualidade das pesquisas produzidas, com isenção, capacidade e disponibilidade de julgadores, são os comitês editoriais das revistas científicas, primordialmente as de circulação internacional. Infelizmente, não há levantamentos confiáveis informando se as teses produzidas foram ou não publicadas e, o que é fundamental, onde o foram. Tal levantamento é indispensável, devendo este esforço ser feito no futuro, pelo sistema de avaliação. Além do destino das teses, é também importante que se tenha codificado o destino dos pós-graduandos.

Apesar destas incertezas, não há dúvidas de que a simples existência de um sistema de pós-graduação financiado pela Capes, pelo CNPq, pela Fapesp e por congêneres, é um fato extremamente positivo. Também bastante positiva é a existência, nas mesmas instituições, de um sistema que consegue, com alguma eficiência, selecionar um número razoável de candidatos a bolsas no exterior, após terem esgotado a capacidade de treinamento no país.

Este treinamento no exterior em centros realmente mais adiantados é absolutamente fundamental, pois a característica mais marcante de um país em desenvolvimento é a incapacidade de realimentar internamente sua ciência, sendo, portanto, indispensável enviar os que sejam mais bem treinados e dotados ao exterior.

Apesar da importância do estágio no exterior, certamente o extenso e bem-organizado sistema de pós-graduação no país precisa também ser alimentado e incrementado para criar, a custo bem mais baixo, uma massa crítica de pesquisadores e docentes que é indispensável para viabilizar nosso progresso científico. A avaliação adequada dos cursos permitirá a identificação e o estímulo dos mais aptos, a ponto dos nossos cursos de pós-graduação garantirem a formação básica adequada da imensa maioria dos pesquisadores e docentes. Assim, no futuro só enviaríamos ao exterior bolsistas para o pós-doutorado, no sentido de trazer ao país as novas conquistas de que fôssemos carentes.

Esta solução mais radical ainda é inviável, pois não seria cabível em áreas do conhecimento nas quais ainda somos carentes, com insuficiência dos cursos de mestrado e/ou doutorado; entretanto, será perfeitamente adequada para áreas em que os cursos de pós-graduação já atingiram boa qualidade, como medicina e odontologia. Para os cursos de áreas mais carentes, a solução ideal seria o doutorado no país, com estágio no exterior por um ano, pois não só o custo é menor, como o obrigatório e continuado intercâmbio entre o centro brasileiro e o estrangeiro certamente trará dividendos extras para o curso nacional. O mestrado no exterior talvez esteja perto da extinção no Brasil, ressalvadas raras exceções.

A bolsa de pós-doutorado no exterior teria de ser estimulada, pois tem menor custo, elimina as escorchantes taxas universitárias e é de menor duração. Principalmente, por ser o candidato mais bem formado e informado, terá, forçosamente, mais capacitação para trazer de volta para o país conhecimentos de ponta. Para que esta bolsa de pós-doutorado tenha real impacto, é desejável que o candidato seja ainda jovem, capaz e ambicioso. A bolsa de pós-doutorado para pessoas mais velhas só teria cabimento em casos excepcionais.

A demanda do Programa Integrado de Capacitação de Docentes (Picd), da Capes, deve ser atendida, pois os conhecimentos adquiridos são automaticamente transferidos, na volta do bolsista, à sua universidade de origem. Nas universidades federais, a desastrosa decisão de permitir promoção por tempo de serviço realmente esvaziou o programa. O recente estímulo financeiro, que se deu aos portadores de mestrado e doutorado nas universidades federais, certamente irá

aumentar a demanda para este programa. É importante salientar que os alunos do Picd são certamente mais motivados, não só pela recompensa financeira que o título lhes propiciará, como por terem em geral mais responsabilidade no cumprimento de seu treinamento. Além disso, sua graduação tem inevitável repercussão na melhoria do ensino e da pesquisa na universidade de origem, que não raro pertence a áreas geográficas mais carentes.

A distribuição de bolsas fornecidas pelo sistema federal, Capes, CNPq e Fapesp está computada nas tabelas 10 a 12.

Tabela 10-a

Área de saúde: bolsas no país (sistema federal)

Curso	Capes								
	Picd						Demanda social		
	Mestrado			Doutorado			Mestrado e/ou doutorado		
	1991	1992	1993	1991	1992	1993	1991	1992	1993
Medicina + saúde coletiva	123	80	203	130	132	262	1.159	1.218	1.466
Nutrição	8	8	16	2	4	6	17	21	31
Enfermagem	58	36	94	20	21	41	65	69	69
Odontologia	80	59	139	66	55	121	276	283	329
Educação física	27	17	44	2	3	6	62	52	55
Fonoaudiologia	4	1	5	1	1	2	13	11	15
Total	300	201	501	221	216	437	1.592	1.654	1.965

Curso	CNPq						Total		
	Demanda social								
	Mestrado			Doutorado					
	1991	1992	1993	1991	1992	1993	1991	1992	1993
Medicina + saúde coletiva	405	461	600	140	304	387	1.957	2.195	2.918
Nutrição	18	31	19	3	6	7	48	70	79
Enfermagem	50	38	49	4	7	23	197	171	276
Odontologia	116	116	131	29	39	57	567	552	777
Educação física	22	38	42	0	0	0	113	110	146
Fonoaudiologia	15	25	39	8	12	10	41	50	71
Total	626	709	880	184	368	484	2.923	3.148	4.267

Fontes: Capes e CNPq.

Tabela 10-b

Área de saúde (biologia): bolsas no país (Fapesp)

Bolsas	1990	1991	1992
Mestrado	543	675	620
Doutorado	187	317	317
Pós-doutorado	38	37	41
Total	768	1.029	978

Fonte: Fapesp.

Tabela 11

Área de saúde: bolsas no exterior (Capes)

Ano/tipo	Especialização	Mestrado	Doutorado	Pós-doutorado	Sanduíche	Total
1988						
Novas	16	26	94	9	3	148
Renovação	1	–	17	–	–	18
Total	17	26	111	9	3	166
1989						
Novas	15	23	58	9	3	108
Renovação	2	3	53	–	–	58
Total	17	26	111	9	3	166
1990						
Novas	9	18	30	9	3	69
Renovação	8	7	78	–	–	93
Total	17	25	108	9	3	162
1991						
Novas	53	19	57	19	17	165
Renovação	1	13	77	2	–	93
Total	54	32	134	21	17	258
1992						
Novas	38	7	28	7	9	89
Renovação	–	2	46	–	–	48
Total	38	9	74	7	9	137

Fonte: Capes.

Tabela 12-a
Área de saúde: bolsas no exterior (CNPq)

Curso	Demanda		Atendimento	
	1991	1992	1991	1992
Nutrição	8	5	4	3
Saúde coletiva	37	44	17	24
Educação física	16	20	13	12
Enfermagem	2	2	1	2
Fisioterapia	5	3	-	2
Fonoaudiologia	8	97	5	5
Odontologia	15	32	4	16
Medicina	146	184	48	67
Total	237	297	92	131

Fonte: CNPq.

Tabela 12-b
Área de saúde (biologia): bolsas no exterior (Fapesp)

Bolsas	1990	1991	1992
Doutorado	70	69	45
Pós-doutorado	239	277	272
Total	309	346	317

Fonte: Fapesp.

Na área de saúde é indispensável que, para alguns profissionais bem preparados para enfrentar problemas práticos, haja também treinamento adequado em ciência básica na área biológica.

A pesquisa de ponta na área de biologia molecular deve ser exercida por biomédicos e biólogos, porém, para que haja um desenvolvimento harmonioso, é indispensável que os profissionais da saúde exercendo a profissão estejam extremamente envolvidos no processo, pois as novas conquistas visam fundamentalmente a sua aplicabilidade ao ser humano.

Assim, a prática da biologia molecular, que constitui o grande progresso revolucionário na pesquisa biológica, tem de ser partilhada também por alguns

médicos e dentistas, para que a posse desses conhecimentos lhes permita ter uma integração com os cientistas básicos, o que certamente resultará em benefício para o elo final da cadeia, que é o ser humano.

Dentro da realidade brasileira e visando a um desenvolvimento mais harmonioso do país como um todo, será indispensável que se tente contemplar o fato de existirem desigualdades regionais imensas e até o momento não-resolvidas. Assim, de alguma forma é necessário estabelecer critérios que, além de unicamente premiar a competência científica, também tentem estimular centros emergentes em áreas carentes do país.

Na avaliação da situação científica brasileira, no sentido de estabelecer uma política de ciência e tecnologia, além das informações oriundas do sistema de pós-graduação pela Capes, é indispensável contar com um levantamento oficial da produção científica brasileira através de índices como ISI e *Index Médico*, o que depende de recursos financeiros que não estão disponíveis.

Na área médica, temos o já citado levantamento feito pelo CNPq, que expressou resultados aparentemente animadores: 2 mil trabalhos em revistas internacionais indexadas (ISI), 4 mil em revistas brasileiras também indexadas (*Index Médico*) e 10 mil em outras revistas médicas brasileiras não-indexadas.

Por outro lado, a adequação desses dados parece insignificante quando confrontados com os de outros países, segundo o estudo de Thomas Schott citado, pois produzimos apenas 0,3% dos trabalhos científicos publicados mundialmente.

Para a área médica existem em funcionamento 148 cursos de pós-graduação em 26 subespecialidades, como consta da tabela 13, que também relaciona: a categoria dos cursos, se mestrado ou doutorado, e aqueles que têm conceito *A* (40% dos mestrados e 52% dos doutorados), assim como o número de alunos ainda matriculados e titulados em 1991.

As características de cada curso, compreendendo a universidade, o ano de início e os conceitos recebidos através dos anos, estão acessíveis no relatório anual da Capes.

Analisando mais detalhadamente a tabela 13, salienta-se que há cursos em áreas mais gerais, compreendendo clínica médica, clínica cirúrgica, medicina preventiva e saúde pública, e patologia, embora a maioria dos cursos seja em subespecialidades mais restritas. Nas universidades com mais recursos científicos, os cursos tendem a ser, nessas áreas, mais específicos. Algumas subespecialidades, como nefrologia, endocrinologia, cardiologia, pneumologia, moléstias infecciosas e medicina preventiva, têm demonstrado desenvolvimento científico indiscutível, produzindo teses de pós-graduação que têm sido publicadas em revistas de circulação internacional.

Tabela 13

Situação em dezembro de 1991

Subáreas	Nº de cursos		Conceitos *A*		Nº de alunos		Nº de titulados	
	M	D	M	D	M	D	M	D
Fonoaudiologia	1	1	1	1	45	27	14	5
Medicina								
Prev. e s. público	10	6	4	3	427	172	74	17
Clín. médica	9	5	4	2	434	127	43	23
Cirur. médica	19	12	9	8	403	252	54	41
Psiquiatria	4	4	–	–	71	35	10	5
Patologia	12	9	7	5	166	127	21	13
Radiologia	3	3	–	–	32	26	3	–
Anestesiologia	1	1	–	–	1	9	–	–
Cardiologia	9	5	1	2	135	61	17	7
Dermatologia	5	3	3	2	100	36	17	8
D. infecc. par.	8	5	6	5	177	56	23	11
Endocrinologia	5	3	2	2	103	48	15	6
Gastroenterologia	4	2	1	1	66	17	7	2
Ginec. e obst.	8	7	2	3	162	76	35	15
Hematologia	2	2	–	–	47	9	2	1
Nefrologia	5	2	2	2	115	50	14	6
Neurologia	5	4	2	3	81	36	10	6
Oftalmologia	3	4	2	2	71	68	14	11
Ortop. e traum.	4	4	2	1	86	58	13	8
Pediatria	10	4	3	3	416	86	80	25
Pneumologia	5	3	3	2	126	11	13	3
Reumatologia	2	2	2	2	30	18	8	6
Alerg. e imun.	1	–	–	–	6	–	3	–
Otorrinol.	5	2	2	2	66	39	8	3
Urologia	3	2	–	–	32	18	2	1
Nutrição	5	2	2	–	88	13	19	–
Total	148	97	60	51	3.486	1.457	519	223
			40%	52%				

Obs.: M = mestrado; D = doutorado.

Na análise geral desses dados destaca-se que há maior número de cursos nas subespecialidades mais antigas e com maior número de especialistas, e que a imensa maioria das instituições envolvidas é pública e situada nos estados mais desenvolvidos, primordialmente no Sudeste, como pode ser observado na tabela 14. Saliente-se ainda que algumas instituições da região Sudeste são particularmente pródigas, tanto na quantidade de cursos oferecidos, como no concernente as boas conceituações respectivas.

Tabela 14

Número de cursos nas diversas subáreas e sua distribuição por áreas geográficas do país

Subáreas	Brasil		Sudeste		Sul		Nordeste		Norte		C.-Oeste	
	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D
Fonoaudiologia	1	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–
Medicina												
Prev. e s. público	10	6	8	5	1	–	1	1	–	–	–	–
Clín. médica	9	5	5	4	2	1	1	–	–	–	1	–
Cirur. médica	19	12	16	12	2	–	1	–	–	–	–	–
Psiquiatria	4	4	4	4	–	–	–	–	–	–	–	–
Patologia	12	9	10	8	–	–	2	1	–	–	–	–
Radiologia	3	3	33	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Anestesiologia	1	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–
Cardiologia	9	5	6	3	3	2	–	–	–	–	–	–
Dermatologia	5	3	5	3	–	–	–	–	–	–	–	–
D. infecc. par.	8	5	5	5	–	–	1	–	–	–	2	–
Endocrinologia	5	3	4	3	1	–	–	–	–	–	–	–
Gastroenterologia	4	2	3	2	1	–	–	–	–	–	–	–
Ginec. e obst.	8	7	8	7	–	–	–	–	–	–	–	–
Hematologia	2	2	2	2	–	–	–	–	–	–	–	–
Nefrologia	5	2	4	2	1	–	–	–	–	–	–	–
Neurologia	5	4	5	4	–	–	–	–	–	–	–	–
Oftalmologia	3	4	3	4	–	–	–	–	–	–	–	–
Ortop. e traum.	4	4	4	4	–	–	–	–	–	–	–	–
Pediatria	10	4	7	4	2	–	1	–	–	–	–	–
Pneumologia	5	3	4	2	1	1	–	–	–	–	–	–
Reumatologia	2	2	2	2	–	–	–	–	–	–	–	–
Alerg. e imun.	1	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Otorrinol.	5	2	5	2	–	–	–	–	–	–	–	–
Urologia	3	2	3	2	–	–	–	–	–	–	–	–
Nutrição	5	2	3	2	–	–	1	–	–	–	1	–
Total	148	97	122	91	14	4	8	2	–	–	4	–

Obs.: M = mestrado; D = doutorado.

Existem cursos nitidamente insuficientes pelos conceitos recebidos. Seria importante ressaltar a importância do sistema de avaliação realizado com alguma eficiência pela Capes. Por outro lado, como já foi ressaltado, esses critérios devem ser melhorados, havendo uma certa distorção entre a grande quantidade

de cursos *A* e a relativa penúria da produção científica brasileira em geral e na área médica em particular.

Obviamente, a pesquisa científica depende da existência do binômio cientistas adequadamente preparados e recursos financeiros para subsidiar projetos.

O sistema de pós-graduação, pelo seu vulto, deveria estar fornecendo material humano adequado, do ponto de vista pelo menos quantitativo.

De fato, embora os docentes desses cursos da área médica sejam, na sua imensa maioria, médicos com atividade clínica, há um crescente número de docentes com dedicação plena à pesquisa, trabalhando em perfeita consonância com os pesquisadores básicos da área biológica. A comprovação deste fato é o número de pesquisadores da área clínica credenciados como pesquisadores pelos critérios relativamente rígidos estabelecidos pelo CNPq (tabela 15).

Tabela 15

Relação de bolsas de pesquisador concedidas pelo CNPq na Coordenação de Ciências da Saúde, 1993

Concedente	Nível							Total
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3c	
Comitê de Medicina (MD)	30	30	21	44	59	77	–	261
Comitê de Medicina Preventiva	17	17	14	20	19	41	–	128
Programa de Saúde Coletiva	14	18	28	28	38	67	1	194
Total geral de bolsas	61	65	63	92	116	185	1	583

Seria importante voltar a salientar que, embora nossa pós-graduação de mestrado e doutorado siga o esquema calcado no modelo americano, este não é utilizado na área médica naquele país. No Brasil, entretanto, esta iniciativa foi, sem dúvida, de inestimável valor, melhorando a qualidade e a quantidade da pesquisa na área médica. Há, porém, como já demonstrado, um problema que ainda não encontrou solução satisfatória, qual seja, o alongamento desmedido do treinamento médico, que se prolonga por seis anos do curso regular, três anos, no mínimo, de residência, e três anos, em média, de mestrado, e outros tantos de doutorado.

Reenfatizando o que destacamos anteriormente, tem havido inúmeras reuniões onde se discutem maneiras de, sem desvirtuar o sistema existente, torná-lo mais ágil e fundamentalmente menos longo. Infelizmente, um consenso ainda não foi encontrado, embora possa se prever que em futuro próximo teremos solução para esta pendência. Outro desafio, também já denunciado anteriormente, é encontrar maneiras de estimular, sem aviltar, a criação de cursos de pós-graduação nas áreas menos desenvolvidas do país, pois como demonstra a tabela 14, há indiscutível prevalência de cursos nas regiões Sudeste e Sul em prejuízo do Nordeste, Norte e Centro-Oeste.

Por outro lado, as verbas destinadas à pesquisa de maneira global, como todos sabem, são insignificantes em termos percentuais, não ultrapassando 0,6% do PIB. As possíveis fontes seriam o CNPq, a Finep e, no estado de São Paulo, a Fapesp. O CNPq, que tem como missão subsidiar pequenos projetos, nos últimos anos tem sido bastante inefetivo, desde que promete pouco e cumpre bem menos, pois muitos dos projetos aprovados não são efetivamente subsidiados.

O grande financiador de pesquisa de maior vulto foi, no passado, a Finep, que, infelizmente, também não tem tido recursos para honrar mesmo alguns dos poucos projetos aprovados pelos seus técnicos.

De maior eficácia tem sido a Fapesp, que, para a área de saúde e biológica, aprovou, em 1990, 1991 e 1992, respectivamente, 365, 390 e 415 projetos de pesquisa, que importaram no total de US$82 milhões.

Considerando a realidade nacional de indigência progressiva e de decadência indiscutível, torna-se difícil equacionar com eqüidade a política de apoio à pesquisa no país. Certamente a tentação de se restringir verbas para a pesquisa para atender o emergencial é grande, porém o preço a pagar no futuro não é seguramente menor.

Vários dos artigos deste livro, sobretudo os relacionados com áreas mais aplicadas como a pesquisa agropecuária, a pesquisa militar, a computação, a biotecnologia e a química, tocam em duas questões fundamentais, que são o relacionamento difícil e complexo entre as atividades de pesquisa e suas aplicações, e o papel do Estado e do setor privado.